



TUGAS AKHIR- TL 141584

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
POLYURETHANE BERPENGUAT *NANOCELLULOSE*
DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
SEBAGAI BAHAN AKUSTIK**

**JONATHAN DIAN
NRP. 2713 100 025**

**Dosen Pembimbing
Ir. Moh. Farid, DEA
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF
NANOCELLULOSE REINFORCED POLYURETHANE
COMPOSITES FROM OIL PALM EMPTY FRUIT
BUNCHES FIBRE AS ACOUSTICAL MATERIALS**

**JONATHAN DIAN
NRP. 2713 100 025**

**Advisor
Ir. Moh. Farid, DEA
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICAL
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
POLYURETHANE BERPENGUAT
NANOCELLULOSE DARI SERAT TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN AKUSTIK**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
JONATHAN DIAN
NRP. 2713 100 025

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Ir. Moh. Farid, DEA (Pembimbing I)

Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT
POLYURETHANE BERPENGUAT NANOCELLULOSE
DARI SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
SEBAGAI BAHAN AKUSTIK**

Nama Mahasiswa : Jonathan Dian
NRP : 2713 100 025
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Ir. Moh Farid, DEA
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Komposit berpenguat cellulose dari serat tandan kosong kelapa sawit (STKKS) merupakan sebuah alternatif material akustik penyerap yang ramah lingkungan, yang dapat digunakan pada door panel mobil. Untuk itu diperlukan penyerap yang memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang baik, kuat, dan ringan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh ukuran dan fraksi berat terhadap morfologi, sifat mekanik, dan nilai koefisien absorpsi suara. Ukuran filler yang digunakan adalah micro dan nano. Fraksi massa filler yang digunakan adalah 1, 3, 5, 10, dan 15% wt. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi SEM, FTIR, densitas, uji kelenturan, dan uji absorpsi suara. Penambahan fraksi massa dan ukuran cellulose dari STKKS cenderung berpengaruh signifikan terhadap nilai koefisiensi absorpsi suara dan modulus kelenturan, namun tidak terlalu signifikan pada perubahan densitas komposisinya. Nilai koefisien absorpsi tertinggi diperoleh pada komposit 85%PU+15%NC sebesar 0,422, modulus kelenturan tertinggi pada komposit 97%PU+3%NC sebesar 28,73 MPa, dan densitas terendah pada komposit 99%PU+1%NC sebesar 1,033 gram/cm³.

Kata kunci: Sound Absorption Material, Biokomposit, Cellulose, Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit, Polyurethane

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NANOCELLULOSE REINFORCED POLYURETHANE COMPOSITES FROM OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCHES FIBRE AS ACOUSTICAL MATERIALS

Name : Jonathan Dian
NRP : 2713 100 025
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Ir. Moh Farid, DEA
Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Sound absorption materials can be used in car interiors to minimize the noise. Composite materials reinforced cellulose from oil palm empty fruit bunches (OPEFB) fiber is an alternative for absorbing acoustic materials, that can be used in car door panel. Therefore, it is necessary to have absorbing material with great sound absorption coefficient value, strong, and light. The purpose of this study was to analyze the effect of size and weight fraction of filler to the morphology, mechanical properties, and sound absorption coefficient. The size of filler that has been used were micro and nano. The weight fraction of filler that has been used were 1, 3, 5, 10, and 15% wt. Tests performed in this study included SEM, FTIR, density, flexural test, and sound absorption test. The addition of weight and various sizes of cellulose from OPEFB fiber likely to have significant effect to sound absorption coefficient value and flexural modulus, but not to density of the composite. The highest sound absorption coefficient value was obtained from 85%PU+15%NC composite with 0,422, the highest flexural modulus value was obtained from 97%PU+3%NC composite with 28.73 MPa, and the lowest density was obtained from 99%PU+1%NC with 1,033 gram/cm³.

Keywords: *Sound Absorption Material, Biocomposite, Cellulose, Oil Palm Empty Fruit Bunches, Polyurethane*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kasih karunia yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang dengan judul: **“Sintesis dan Karakterisasi Komposit *Polyurethane* Berpenguat *Nanocellulose* Dari Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Akustik”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karuniaNya dari awal memulai perkuliahan di ITS hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga atas semua doa, dukungan moril dan materiil, pengertian dan cinta yang telah diberikan selama ini
3. Bapak Ir. Moh. Farid, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
4. Ibu Amaliya Rasyida, S.T., M.Sc. selaku dosen *co*-pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan.
5. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. yang senantiasa memberikan saran.
6. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
7. Bapak Wikan Jatimurti, ST., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi.
8. Dosen Tim Penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
9. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.
11. Keluarga HMMT dan MT15 yang selalu membantu selama masa perkuliahan.
12. Keluarga PKKTM 2013 yang selalu ada di sekitar saya.

13. Darosa yang selalu memberikan dukungan baik di kala suka maupun duka.
14. Rinush, Simon, Rommel, Daniel, dan Anggiat selaku sahabat kos yang selalu menghibur.
15. Badi dan Cebung selaku sahabat jalan-jalan dan hura-hura.
16. Afira, Asis, Bathara, dan Mas Zul selaku teman seperjuangan selama Tugas Akhir
17. Arif, Iqbal, dan Imbang selaku teman seperjuangan di Laboratorium Inovatif.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini mampu membantu pengembangan komposit berpenguat cellulose di Indonesia. Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Material Komposit	5
2.2 Komposit Serat.....	6
2.3 Matriks Poliuretan.....	8
2.4 Serat Alam	13
2.5 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	15
2.5.1 Selulosa	18
2.5.2 <i>Nanocellulose</i>	19
2.5.3 Lignin	20
2.6 Hukum Pencampuran.....	21
2.7 Bunyi.....	22
2.8 Material Akustik	23
2.9 Material Penyerap Suara	24
2.10 <i>Door Panel</i>	27
2.11 Standar Nilai untuk Kebisingan (dB) pada Interior Kendaraan	29
2.12 Penelitian Terdahulu	30

BAB III METODOLOGI	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	33
3.1.1 Pembuatan dan Pengujian Komposit.....	33
3.1.2 Sintesis <i>Microcellulose</i>	34
3.1.3 Sintesis <i>Nanocellulose</i>	35
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian.....	35
3.2.1 Bahan Penelitian.....	35
3.2.2 Peralatan Penelitian	38
3.3 Variabel Penelitian.....	42
3.4 Metode Penelitian	42
3.4.1 Persiapan Bahan	42
3.4.2 Proses Pengujian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
4.1 Analisis Morfologi	55
4.1.1 Analisis SEM pada Komposit.....	55
4.1.2 Analisis SEM pada Filler.....	57
4.2 Analisis FTIR.....	59
4.2.1 Analisis FTIR pada Hasil Perlakuan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	59
4.2.2 Analisis FTIR pada <i>Polyurethane</i>	65
4.2.3 Analisis FTIR pada Komposit	70
4.3 Analisis Kekuatan Lentur.....	73
4.4 Analisis Densitas Komposit	76
4.5 Analisis Koefisien Absorpsi Suara	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	xxvii
BIODATA PENULIS	xliii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema dari (a) kontinu dan searah, (b) diskontinu dan searah, dan (c) diskontinu dan berorientasi secara acak pada komposit yang diperkuat serat (Callister dan Rethwisch, 2010)...	7
Gambar 2. 2 (a) Jenis Material Berongga (Klempner dan Sendjarevic, 2004) dan (b) Hasil Uji SEM PU Murni Perbesaran 250x (Farid dan Erdin, 2016).....	10
Gambar 2. 3 Gugus Polypropylene Glycol (a) dan Gugus Isocyanate (b) (Kricheldorf, 2005).....	10
Gambar 2. 4 Gugus Fungsi Polyurethane (Kricheldorf, 2005) ...	11
Gambar 2. 5 Serat Alam Kelapa Sawit dari Pohonnya (Khalil, 2012)	16
Gambar 2. 6 Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014)	18
Gambar 2. 7 Proses Hidrolisis Selulosa (B. L. Peng, 2011)	19
Gambar 2. 8 Struktur Kimia Lignin (Chen, 2014)	20
Gambar 2. 9 Tipe Penyerapan Suara (Howard dan Angus, 2009)	26
Gambar 2. 10 Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard dan Angus, 2009).....	27
Gambar 2. 11 Estimasi koefisien penyerapan suara pada door panel (Mørkholt, 2011)	29
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit.....	33
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pembuatan Microcellulose	34
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pembuatan Nanocellulose	35
Gambar 3. 4 STKKS	35
Gambar 3. 5 Purified Water	36
Gambar 3. 6 NaOH	36
Gambar 3. 7 Phenyl Isocyanate.....	36
Gambar 3. 8 Propylene Glycol.....	37

Gambar 3. 9 H ₂ O ₂	37
Gambar 3. 10 H ₂ SO ₄	37
Gambar 3. 11 Mesin Pencacah Organik	38
Gambar 3. 12 Mesin Sieving	39
Gambar 3. 13 Alat Centrifuge	39
Gambar 3. 14 Alat Uji SEM	40
Gambar 3. 15 Alat Uji Absorpsi Suara	40
Gambar 3. 16 Alat Uji FTIR	41
Gambar 3. 17 Alat Uji Flexural	41
Gambar 3. 18 Proses Blending Pembuatan Komposit	45
Gambar 3. 19 Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara	46
Gambar 3. 20 Rangkaian Alat Uji Absorpsi Suara	47
Gambar 3. 21 Spesimen Uji Absorpsi Suara	48
Gambar 3. 22 Prinsip Kerja SEM (Zhou dan Zhang, 2000)	49
Gambar 3. 23 Spesimen Uji SEM	49
Gambar 3. 24 Skema Uji FTIR (Zhou dan Zhang, 2000)	50
Gambar 3. 25 Spesimen Uji FTIR	51
Gambar 3. 26 Dimensi Spesimen Uji Flexural	52
Gambar 3. 27 Spesimen Uji Flexural	52
Gambar 3. 28 Pengujian Densitas	53
Gambar 3. 29 Spesimen Uji Densitas	54
Gambar 4. 1 Hasil SEM dengan Perbesaran 50x dan 250x dari Pengaruh Perbedaan Ukuran Spesimen dengan cellulose, PU (70PPG:30PPG) (a), PU+15% microcellulose (b) dan PU+15% nanocellulose (c)	56
Gambar 4. 2 Hasil SEM dengan perbesaran 250x pada STKKS yang; (a) dicuci, (b) dialkali, (c) dibleaching, dan perbesaran 500x pada (d) dihidrolisis	58
Gambar 4. 3 Hasil Uji FTIR dari Tiap Tahap Pengisolasian STKKS; (a) Setelah Pencucian, (b) Alkali, (c) Bleached, (d) Hidrolisis	60

Gambar 4. 4 Struktur Kimia pada TKKS Mentah atau Washed (a) Lignin, (b) Selulosa.....	62
Gambar 4. 5 Reaksi pada Proses Alkali	63
Gambar 4. 6 Reaksi pada Proses <i>Bleaching</i>	64
Gambar 4. 7 Reaksi Hidrolisis pada <i>Cellulose</i>	65
Gambar 4. 8 Grafik Hasil FTIR pada Isocyanate (a), Polyol (b), dan Polyurethane (c)	66
Gambar 4. 9 Skema Reaksi pada Polyurethane (Kricheldorf, 2005)	69
Gambar 4. 10 Pengaruh Perbedaan Ukuran dengan Fraksi Penambahan 15% Filler pada Komposit Berbasis PU Terhadap Hasil Uji FTIR	70
Gambar 4. 11 Pengaruh Fraksi Massa dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Kekuatan Lentur (a) dan Modulus Kelenturan (b).....	74
Gambar 4. 12 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Densitas yang Dihasilkan	76
Gambar 4. 13 Koefisien Absorpsi pada: (a) PU berpenguat <i>microcellulose</i> , (b) PU berpenguat <i>nanocellulose</i> , (c) Perbandingan Terhadap Filler	83
Gambar 4. 14 Grafik Nilai NRC pada Material PU dan Komposit.....	84

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-Sifat Polyurethane (Kricheldorf, 2005)	12
Tabel 2. 2 Noise Reduction Coefficient (NRC) dari Beberapa Produk Foam (Lee, 2009)	12
Tabel 2. 3 Komposisi Kimia dari Beberapa Serat Alam	13
Tabel 2. 4 Sifat Mekanik dari Beberapa Serat Alam.....	14
Tabel 2. 5 Sifat Fisik dari Beberapa Serat Alam (Mwaikambo, 2006)	15
Tabel 2. 6 Komposisi Kimia dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)	17
Tabel 2. 7 Sifat Fisik-Mekanik dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)	18
Tabel 2. 8 Koefisien Absorpsi Beberapa Material (Doelle, 1993)	25
Tabel 4. 1 Daerah Serapan Infra Merah STKKS.....	62
Tabel 4. 2 Daerah Serapan Infra Merah Isocyanate	66
Tabel 4. 3 Daerah Serapan Infra Merah Polyol.....	67
Tabel 4. 4 Daerah Serapan Infra Merah Polyurethane	68
Tabel 4. 5 Daerah Serapan Infra Merah PU+Micro-15%	71
Tabel 4. 6 Daerah Serapan Infra Merah PU+Nano-15%.....	72
Tabel 4. 7 Pengaruh Fraksi Massa dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Kekuatan Lentur dan Modulus Kelenturan.....	75
Tabel 4. 8 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Densitas yang Dihasilkan	77
Tabel 4. 9 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Koefisien Absorpsi Suara	79
Tabel 4. 10 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Nilai NRC	84

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman modern seperti ini, teknologi berkembang dengan sangat cepat. Tidak selamanya perkembangan teknologi memberikan dampak positif. Salah satu dampak kemajuan teknologi disektor transportasi yang bersifat negatif adalah pencemaran suara atau kebisingan (Sarwono, 1995). Pada tahun 2015 ini OCIA, organisasi yang mewadahi informasi dan statistik otomotif manufacturing mencatat sebanyak 90,780,583 mobil diproduksi dan dipasarkan di seluruh dunia. Banyaknya jumlah otomotif yang ada menjadi sumber kebisingan terbesar di lalu lintas. Kebisingan yang disebabkan oleh lalu lintas memiliki tekanan bunyi 80-100 dB. Sumber kebisingan tertinggi pada kehidupan manusia adalah pada kendaraan bermotor (55%). Sementara berdasarkan PerMenLH no.07 tahun 2009 disebutkan bahwa batas maksimal suara pada kendaraan roda empat berpenumpang dibawah 8 orang adalah 77-80 dB. Mediastika (2009) mengatakan bahwa untuk mengetahui apakah suatu kebisingan yang muncul di jalan raya telah memasuki tahap polusi kebisingan, maka kebisingan yang muncul dapat diukur dengan penunjuk atau indeks polusi kebisingan (LNP). Sementara LNP yang bisa diterima adalah dibawah 74 dB. Sementara untuk range 74-88 dB pada umumnya tidak dapat diterima. Motor bakar merupakan salah satu jenis penggerak yang menggunakan hasil ledakan dari pembakaran di dalam silinder untuk dirubah menjadi energi mekanik, seperti mesin diesel. Menurut Amaechi (2015), bunyi diesel disebabkan terutama oleh proses pembakaran diesel; pengapian mendadak bahan bakar diesel saat disuntikkan ke dalam ruang pembakaran menyebabkan gelombang bertekanan.

Peredam suara atau absorber suara adalah salah satu bahan yang dapat menyerap energi suara dari sumber suara (Wirajaya, 2007). Adapun jenis bahan peredam suara yang telah ada yaitu bahan berpori, resonator dan panel. Dari ketiga jenis bahan



tersebut, bahan berporilah yang sering dipakai untuk mengurangi kebisingan pada ruang yang sempit. Hal ini karena bahan berpori relatif lebih murah dan ringan dibanding jenis peredam lain (Lee, 2003). Beberapa teknologi sudah dilakukan terutama untuk mengurangi kebisingan tersebut. Seperti contohnya di dalam interior penumpang. Tentunya untuk pembuatan interior kabin ini menggunakan bahan yang dapat mengabsorpsi suara.

Sebagian besar manusia hanya mengetahui bahan untuk absorpsi suara tersebut berasal dari bahan kimia, tetapi dalam penelitian bahan untuk membuat interior sebuah kendaraan ini bisa berasal dari komposit yang berpenguat serat alami yang ramah lingkungan. Komposit serat alami merupakan salah satu alternatif bahan absorber suara. Serat alam pada umumnya memiliki kemampuan menyerap suara khususnya dalam mengendalikan kebisingan (Shoshani, 1990). Serat alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintetis, seperti beratnya yang lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan. Serat alami juga merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit (Lokantara, 2007).

Bahan berpori merupakan kombinasi dari dua fasa yang berbeda, fasa padat dan fasa cairan jenuh. Polyurethane (PU) busa adalah jenis bahan berpori dengan fasa elastis padat dan udara sebagai fluida menjenuhkan. PU busa memiliki aplikasi besar pada akustik, terutama untuk tujuan penyerap suara (Asadi, 2015).

Salah satu serat yang juga memiliki koefisien absorpsi suara yang cukup baik adalah serat bambu. Absorpsi komposit terbaik dicapai oleh PU (Isocyanate:Polyol, 70:30)-15%B sebesar 0.435 pada frekuensi 4000Hz (Farid dan Erdin, 2016). Selain serat bambu, belakangan ini juga sedang dikembangkan absorption material berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit (STKKS). Penyerapan suara terbaik yang dihasilkan pada 15% berat treated oil palm memperkuat komposit epoxy memiliki koefisien penyerapan suara lebih tinggi dari perubahan lain dalam hasil serat isinya, yaitu sebesar 0,095 pada 6000Hz (Bakri, 2015). Banyak



penelitian mengenai STKKS (Oil Palm Empty Fruit Bunch/OPFB) yang dikembangkan dalam skala nano. Polyurethane dengan serat OPFB dihasilkan tensile strength terbesar pada kadar serat sebanyak 60% yaitu sebesar 35 MPa (Rozman, 2001). Sebanyak 3% nano OPFB/epoxy memiliki sifat tensile dan impact yang paling baik yaitu masing-masing 1,4 GPa dan 98 J/m (Naheed Saba, 2016).

Untuk memiliki nilai koefisien absorpsi suara yang tinggi, suatu material dapat memiliki struktur berpori sehingga gelombang suara dapat diserap dan berkurang kebisingannya. Salah satu matriks yang memiliki struktur berpori adalah polyurethane. Selain itu, untuk menunjang aplikasi door panel yang tahan terhadap tekanan maka STKKS dapat memberikan sifat tersebut. Oleh karena itu perlu disintesis dan dikaji lebih lanjut mengenai bahan akustik dari *polyurethane* berpenguat STKKS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dibahas sebelumnya, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap morfologi komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS?
2. Bagaimana pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap nilai koefisien absorpsi suara komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS?
3. Bagaimana pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap modulus kelenturan komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan untuk mengasumsikan parameter konstanta yang pengaruhnya sangat kecil pada penelitian sehingga dapat diabaikan. Adapun batasan masalah yang dimaksud adalah sebagai berikut:



1. Kandungan pengotor pada saat penelitian diabaikan.
2. Kadar uap air dan gas yang ada pada atmosfer dianggap tidak berpengaruh.
3. Distribusi filler dianggap merata.
4. Nilai densitas air dianggap sama dengan 1 gr/cm^3 .

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap morfologi komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS.
2. Menganalisa pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap nilai koefisien absorpsi suara komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS.
3. Menganalisa pengaruh ukuran dan fraksi massa filler terhadap modulus kelenturan komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menciptakan produk komposit baru dengan menggunakan kombinasi *polyurethane* dan *cellulose* dari STKKS sebagai bahan dasar material penyerap suara.
2. Memanfaatkan limbah organik yang ada dan memberikan nilai guna yang lebih.
3. Memberikan pengetahuan mengenai morfologi dan sifat komposit *polyurethane* berpenguat *cellulose* dari STKKS sehingga dapat dijadikan sebagai acuan penelitian yang berkaitan di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Komposit

Sebuah material komposit dapat didefinisikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih material yang menghasilkan sifat yang lebih baik daripada komponen individunya digunakan sendiri. Berbeda dengan paduan logam, masing-masing material mempertahankan sifat kimia, fisik, dan mekanik. Kedua konstituen ini adalah reinforcement (penguat) dan matriks. Keuntungan utama dari material komposit adalah kekuatan dan kekakuan yang tinggi, dikombinasikan dengan kepadatan yang rendah. Fasa penguat memberikan kekuatan dan kekakuan. Dalam kebanyakan kasus, penguat lebih keras, lebih kuat, dan lebih kaku daripada matriks. Penguat biasanya berupa sebuah serat atau partikulat. Komposit partikulat memiliki dimensi yang kira-kira sama di semua arah. Komposit partikulat dapat berbentuk bola, platelet, atau bentuk teratur atau tidak teratur lainnya. Komposit partikulat cenderung jauh lebih lemah dan kurang kaku daripada komposit serat kontinyu, tetapi mereka biasanya jauh lebih murah. Komposit yang diperkuat partikulat biasanya mengandung penguat kurang (hingga 40 sampai 50 persen volume) karena kesulitan dalam pengolahan dan kegetasan. (Campbell, 2010).

Sebuah komposit, dalam konteks ini, adalah material multifase yang dibuat manusia, sebagai lawan dari yang terjadi atau terbentuk alami. Selain itu, fase konstituen harus berbeda secara kimia dan dipisahkan oleh interface yang berbeda.

Dalam merancang material komposit, para ilmuwan dan insinyur telah cerdas menggabungkan berbagai logam, keramik, dan polimer untuk menghasilkan material generasi baru yang luar biasa. Kebanyakan komposit telah diciptakan untuk meningkatkan kombinasi karakteristik mekanis seperti kekakuan, ketangguhan, dan kekuatan temperature ambient dan tinggi.

Banyak material komposit terdiri dari hanya dua fase; salah satu yang disebut matriks, yang kontinyu dan mengelilingi fase



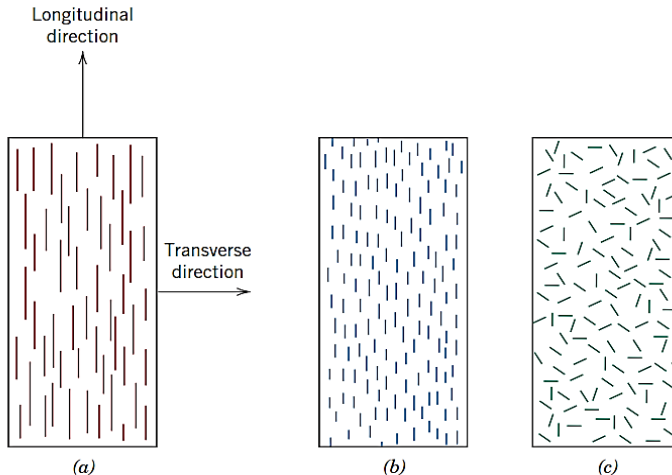
lainnya, sering disebut fase terdispersi. Sifat-sifat komposit merupakan fungsi dari sifat-sifat fase konstituen, jumlah relatifnya, dan geometri dari fase terdispersi (Callister dan Rethwisch, 2010).

Keuntungan dari komposit ada banyak, termasuk massa yang lebih ringan, kemampuan untuk mendapatkan kekuatan dan kekakuan optimal, meningkatkan fatigue life, ketahanan korosi, dan dengan desain yang bagus, biaya perakitan berkurang karena bagian detail lebih sedikit.

Kekurangan dari komposit meliputi: biaya bahan bakunya yang tinggi, dan komposit biasanya membutuhkan biaya fabrikasi dan perakitan yang tinggi; komposit dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban; komposit juga lemah dalam matriks menerima beban primer pada arah yang tidak merata dan tidak boleh digunakan di mana arah beban yang kompleks; komposit juga rentan terhadap dampak kerusakan dan delaminasi atau pemisahan lapisan yang dapat terjadi; dan komposit lebih sulit untuk diperbaiki dibandingkan dengan struktur logam (Campbell, 2004).

2.2 Komposit Serat

Komposit yang diperkuat serat disubklasifikasikan oleh panjang serat. Untuk serat pendek, serat terlalu pendek untuk menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan. Pengaturan atau orientasi dari serat relatif terhadap satu sama lain, konsentrasi serat, dan distribusi semua yang signifikan memiliki pengaruh pada kekuatan dan properti lainnya dari komposit serat. Sehubungan dengan orientasi, ada dua kemungkinan: (1) serat yang sejajar pada arah longitudinal pada satu arah, dan (2) serat dengan arah yang acak. Serat kontinu biasanya searah (Gambar 2.1a), sedangkan serat diskontinu bisa berupa sejajar (Gambar 2.1b), secara orientasi acak (Gambar 2.1c), atau sebagian berorientasi. Sifat komposit yang lebih baik secara keseluruhan dapat diwujudkan dengan distribusi serat yang seragam (Callister dan Rethwisch, 2010).



Gambar 2.1 Skema dari (a) kontinu dan searah, (b) diskontinu dan searah, dan (c) diskontinu dan berorientasi secara acak pada komposit yang diperkuat serat (Callister dan Rethwisch, 2010)

Secara umum tipe serat dibagi menjadi beberapa jenis, diantaranya:

a. *Continuous Fiber Composite*

Disebut juga sebagai *uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangannya adalah lemahnya kekuatan antar lapisan dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya

b. *Woven fiber composite*

Disebut juga *bi-directional*, komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya tidak begitu lurus mengakibatkan kekuatan dan kekakuan tidak sebaik *continuous fiber*.

c. *Discontinuous fiber*

Komposit jenis ini masih dibedakan lagi menjadi:



- *Align discontinuous fiber*
Dimana serat nya berukuran pendek namun tersusun secara *rapid* dan sejajar
- *Randomly oriented discontinuous fiber*
Komposit dengan serat pendek yang tersebar secara acak diantara matriksnya. Tipe acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya lebih murah.

Ditinjau dari pembuatannya, serat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu serat sintetis dan serat alami. Kedua jenis serat itu digunakan sebagai penguat atau pengisi pada material komposit. Serat sintetis banyak berperan sebagai penguat, sedangkan serat alami digunakan sebagai pengisi.

Serat alami merupakan serat yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti aren, serabut kelapa, pelepah pisang, serat pohon, residu kayu, dan lain-lain. Penggunaan serat alami bukanlah memberikan efek penguatan, tetapi hanya penambah massa dari material komposit sehingga mempunyai kekuatan dan kekakuan yang rendah bahkan menurunkan kekuatan dan kekakuan matriks sebelumnya (Sulistijono, 2012).

2.3 Matriks Poliuretan

Poliuretan adalah bagian dari kelompok material yang sangat serbaguna yang ditemukan penggunaannya dalam berbagai aplikasi, baik domestik dan industri. Poliuretan yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti cat dan lak, kasur busa, implan medis, dan aplikasi industri seperti rol, enkapsulasi listrik, komponen teknik, sol sepatu, segel, dan di industri pertambangan.

Poliuretan busa dapat dibuat dalam beberapa gaya yang berbeda: (1) Kaku: Busa kaku digunakan untuk isolasi panas dan akustik. Busa kaku bisa diproses dengan tangan atau mesin, atau sebaliknya, mereka dapat disemprotkan. Busa kaku juga dapat digunakan untuk daya apung. Busa kaku digunakan sebagai isolasi di dinding dan langit-langit serta di papan selancar untuk memberikan struktur pada papan.

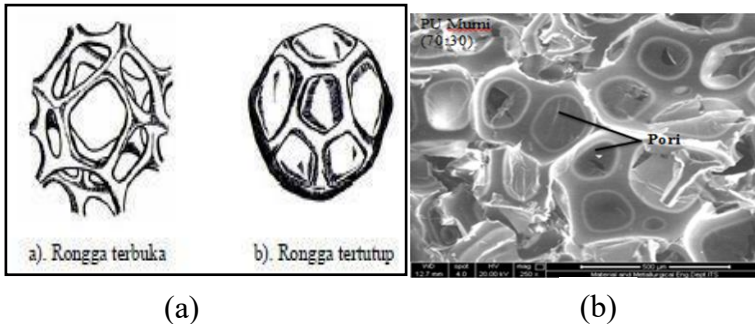


(2) Fleksibel: Poliuretan fleksibel ditemukan pada banyak aplikasi domestik seperti kasur, bantal, dan karpet. Tipe busa ini biasanya diproses massal dan membutuhkan area yang luas untuk produk jadinya karena densitas yang sangat rendah (Clemitsen, 2008).

Keunggulan *polyurethane* dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya (*rubber, metal, wood dan plastic*):

1. Tingkat kekerasan suatu *spare part* sangat penting dalam penggunaan suatu mesin. Dengan menggunakan bahan *polyurethane* kekerasan suatu *spare part* dapat diatur sedemikian rupa dari *hardness 10 shore A* sampai dengan *95 shore A*.
2. Mempunyai tingkat abrasi yang tinggi yang mengakibatkan *spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah aus.
3. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* dapat *flexible* terhadap temperature rendah (*low temperature*), bahan dapat dioperasikan sampai dengan dibawah 0°C.
4. *Spare part* yang terbuat dari bahan *polyurethane* tidak mudah sobek, kekuatannya lebih baik dari bahan *rubber*.

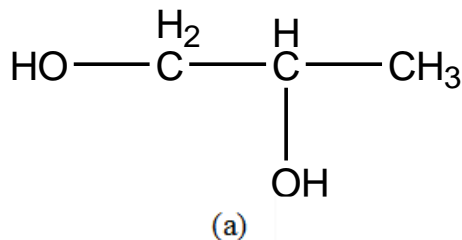
Pori yang terbentuk pada *polyurethane* umumnya terdiri dari 2 jenis yaitu susunan terbuka (*open-cell*) dan tertutup (*closed-cell*) (Klempner dan Sendjarevic, 2004). Pada material dengan susunan terbuka terdapat pemutusan dinding rongga dan bersifat *flexible*. Material dengan *closed cell* tidak ada pemutusan dinding rongga dan bersifat kaku. Pada *polyurethane* murni baik pada perbandingan komposisi penyusun 70:30 memiliki struktur sel tertutup (Farid dan Erdin, 2016). Perbedaan kedua jenis susunan rongga tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.2.

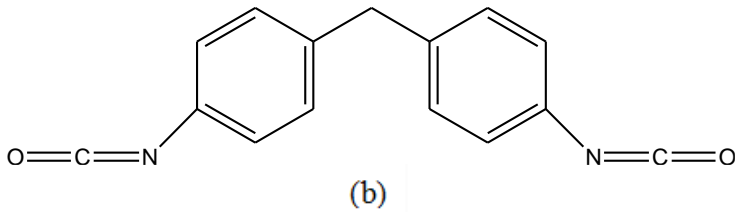


Gambar 2.2 (a) Jenis Material Berongga (Klempner dan Sendjarevic, 2004) dan (b) Hasil Uji SEM PU Murni Perbesaran 250x (Farid dan Erdin, 2016)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, PU merupakan bahan hasil poliadiisi yang ditemukan oleh Otto Bayer digunakan sebagai busa keras maupun lunak serta sebagai bahan pelapis dan campuran elastomer. PU dibuat dengan mereaksikan diisocyanate dengan diol menghasilkan struktur blok yang terdiri atas bagian yang keras (isocyanate dan diol berantai pendek) dan bagian yang lunak (diol berantai panjang). Keras dan lunaknya PU dihasilkan dari variasi ketiga komponen pembentuk blok tersebut.

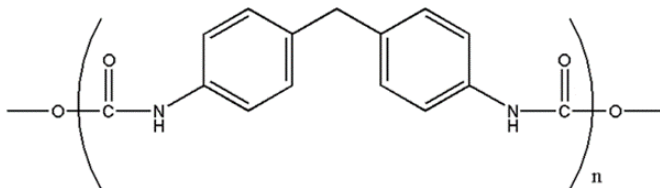
Salah satu jenis *polyurethane* yang dapat dibuat adalah dengan mereaksikan polypropylene glycol dan methylene diphenyl diisocyanate dengan tambahan foaming agent formaldehyde. Reaksi pembentukan *polyurethane* yang terjadi ditunjukkan oleh Gambar 2.3.





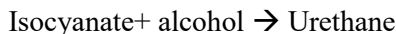
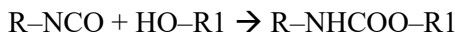
Gambar 2.3 Gugus Polypropylene Glycol (a) dan Gugus Isocyanate (b) (Kricheldorf, 2005)

Gugus tersebut kemudian bereaksi sehingga terbentuklah gugus urethane. Gugus OH yang ada pada Polyol ini terlepas kemudian O berikatan dengan C yang ada pada Isocyanate. Sementara H akan berikatan dengan N yang ada pada Isocyanate. Gugus Hidroksil dan Isocyanate kemudian berikatan secara linear sehingga membentuk *Polyurethane* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Gugus Fungsi *Polyurethane* (Kricheldorf, 2005)

Reaksi dari Isocyanate dan Polyol secara kimia adalah sebagai berikut



Jenis Isocyanate dan juga Polyol akan mempengaruhi kecepatan reaksi dan sifat dari produk akhir yang akan dihasilkan. Polyol memberikan fleksibilitas tinggi pada struktur *polyurethane* sehingga Polyol disebut sebagai segmen lunak dari *Polyurethane*. Disisi lain, Isocyanate akan memberikan kekakuan dan rigiditas dalam struktur *Polyurethane* sehingga disebut segmen keras.



Dari jenis polyol yang digunakan, PU dapat dibedakan ke dalam dua macam yaitu Polyester PU dan Polyether PU. Polyester PU lebih tahan terhadap hidrolisa dengan Tg yang lebih rendah disbanding polyester PU, sedangkan polyester PU memiliki ketahanan terhadap oli dan bahan bakar. Sifat-sifat yang dimiliki oleh PU antara lain:

- a. Tahan kikisan
- b. Tahan cuaca
- c. Tahan jamur

Pemakaian polyurethane di Indonesia sebagai bahan pendukung industry masih sangat tergantung pada impor, walaupun beberapa industri sudah mulai mencoba memproduksi polyurethane di dalam negeri. Banyaknya pabrik kertas, furnitur, industri otomotif dan industri alas kaki di Indonesia membuat prospek usaha di bidang polyurethane di masa depan cukup menjanjikan, asalkan kita mau tekun mendalami teknik pembuatan dan pencetakannya (Harahap, 2011). Contoh pemakaian PU adalah sebagai rol atau roda, sabuk penggerak, perapat hidrolik, pelapis dan pelindung, sepatu, selang dan tabung. Tabel 2.1 berikut memperlihatkan sifat-sifat yang dimiliki oleh PU. Tabel 2.2 memperlihatkan koefisien pengurangan suara oleh material foam.

Tabel 2.1 Sifat-Sifat *Polyurethane* (Kricheldorf, 2005)

Sifat fisik	
Massa jenis	1.12-1.24 gr/cm ³
Serapan air	0.15-0.19 %
Penyusutan	0.4-1 %
Sifat mekanik	
Kekuatan Tarik	4500-9000 Psi
Perpanjangan hingga patah	60-550 %
Kekuatan terhadap impak Izod	1.5-1.8 ft-lb/in (tidak patah)
Sifat thermal	
Titik lebur	75-137 °C
Temperatur proses	370-500 °F



Tabel 2.2 *Noise Reduction Coefficient (NRC)* dari Beberapa Produk *Foam* (Lee, 2009)

Material	Density (lb/ft³)	NRC
<i>Polystyrene foam</i>	2.5	0.18
<i>Rigid polyurethane foam</i>	2.0	0.32
<i>Flexible polyurethane foam</i>	1.9	0.6-0.7
<i>Phenolic foam</i>	2.0-4.0	0.5-0.75
<i>Fiberglass board at 2" thick</i>	1.0	1.0

2.4 Serat Alam

Peningkatan kesadaran akan sumber daya tidak terbarukan menjadi langka dan ketergantungan kita yang tak terelakkan pada sumber daya terbarukan telah muncul. Pada abad ini bisa disebut abad selulosa, karena semakin banyak sumber daya tanaman terbarukan untuk produk sedang ditemukan. Hal ini dinyatakan secara umum bahwa serat alam itu terbarukan dan berkelanjutan, tetapi sebenarnya, tidak. Tanaman hidup itu terbarukan dan berkelanjutan yang mana serat alaminya diambil, tetapi tidak berserat sendiri.

1. Sumber serat

Tanaman, yang menghasilkan serat alam, diklasifikasikan sebagai primer dan sekunder tergantung pada pemanfaatannya. Tanaman primer adalah tanaman yang tumbuh untuk konten seratnya sementara tanaman sekunder adalah tanaman di mana serat diproduksi sebagai *by-product*. *Jute*, *hemp*, *kenaf*, dan *sisal* adalah contoh dari tanaman utama. Nanas, kelapa sawit dan sabut adalah contoh tanaman sekunder. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia dari serat utama yang digunakan secara komersial dalam komposit, Tabel 2.4 menunjukkan sifat mekanik dari serat alam, dan Tabel 2.5 menunjukkan sifat fisik dari serat alam.

2. Jenis serat

Ada enam tipe dasar dari serat alami. Serat-serat tersebut diklasifikasikan sebagai berikut: serat kulit pohon (*jute*, *flax*, *hemp*, *ramie*, dan *kenaf*), serat daun (abaca, sisal dan nanas), serat biji



(sabut, kapas dan kapuk), serat inti (*kenaf*, *hemp*, dan *jute*), rumput dan alang-alang serat (gandum, jagung dan beras) dan semua jenis lain (kayu dan akar).

Tabel 2.3 Komposisi Kimia dari Beberapa Serat Alam

Fiber	Cellulose (wt%)	Hemicellulose (wt%)	Lignin (wt%)	Waxes (wt%)
Bagasse	55.2	16.8	25.3	-
Bamboo	26-43	30	21-31	-
Flax	71	18.6-20-6	2.2	1.5
Kenaf	72	20.3	9	-
Jute	61-71	14-20	12-13	0.5
Hemp	68	15	10	0.8
Ramie	68.6-76.2	13-16	0.6-0.7	0.3
Abaca	56-63	20-25	7-9	3
Sisal	65	12	9.9	2
Coir	32-43	0.15-0.25	40-45	-
Oil palm	65	-	29	-
Pineapple	81	-	12.7	-
Curaua	73.6	9.9	7.5	-

Tabel 2.4 Sifat Mekanik dari Beberapa Serat Alam

Fiber	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)	Density (g/cm ³)
Abaca	400	12	3-10	1.5
Bagasse	290	17	-	1.25
Bamboo	140-230	11-17	-	0.6-1.1
Flax	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Hemp	690	70	1.6	1.48
Jute	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-



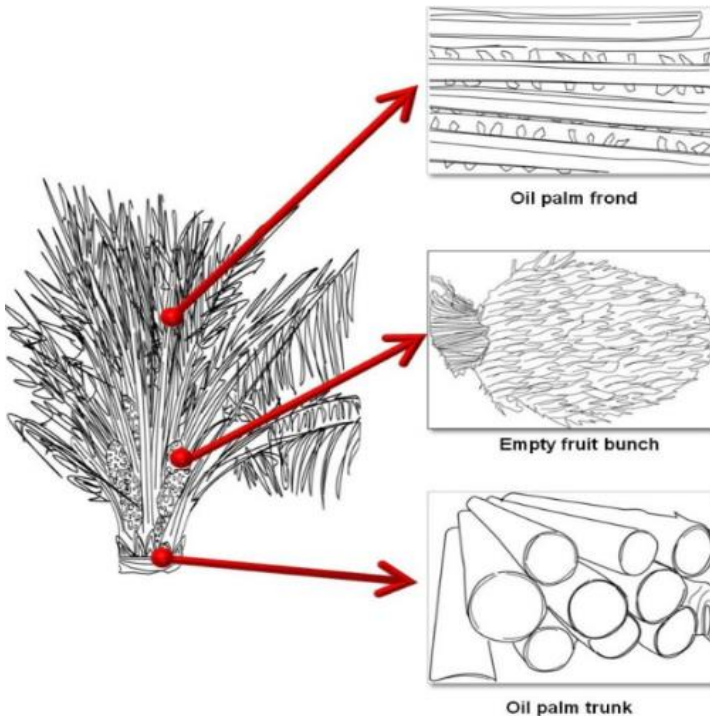
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Ramie	560	24.5	2.5	1.5
Oil palm	248	3.2	25	0.7-1.55
Pineapple	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Coir	175	4-6	30	1.2
Curaua	500-1150	11.8	3.7-4.3	1.4

Tabel 2.5 Sifat Fisik dari Beberapa Serat Alam (Mwaikambo, 2006)

Fibre type	Diameter (μm)	Length (mm)	Aspect ratio (l/d)	Micro-fibril angle (θ)	Bulk Density (kg/m^3)	Moisture regain (%)	[Source]
Abaca	17.0-21.4	4.6-5.2	257	-	1500	14.00	22
Bagasse	20	1.7	-	-	550-1250	-	9,10,22
Banana	-	2-3.8	-	11-12	1300-1350	-	9,10,22
Bamboo	10-40	2.7	-	-	1500	-	9,10,22
Coir	16.2-19.5	0.9-1.2	64	39-49	1250	13.00	10,22
Cotton	11.5-17	20-64	2752	20-30	1550	8.50	22,33
Flax	17.8-21.6	27.4-36.1	1258	5	1400-1500	12.00	22,41
Hemp	17.0-22.8	8.3-14.1	549	6.2	1400-1500	12.00	22,40,42,43
Jute	15.9-20.7	1.9-3.2	157	8.1	1300-1500	17.00	22,36,37
Kapok	15-35	Aug-32	724	-	384	10.90	22,38
Kenaf	17.7-21.9	2.0-2.7	119	-	1220-1400	17.00	22
Phormium	15.4-16.4	5.0-5.7	337	-	-	-	16,22
Pineapple	20-80	-	-	6-14	1520-1560	-	22,41,44
Ramie	28.1-35.0	60-250	4639		1550	8.50	22,41
Sisal	18.3-23.7	1.8-3.1	115	10-22	1300-1500	14.00	22,45

2.5 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman minyak yang paling ekonomis dan sangat-berpotensi tinggi. Kelapa sawit merupakan spesies *Elaeis guineensis* dalam famili *Palmacea* dan berasal dari hutan tropis Afrika Barat. Budidaya industri utamanya ada di negara-negara Asia Tenggara seperti Malaysia dan Indonesia. Budidaya skala besar telah mewabah ke Amerika Latin. Di India, budidaya kelapa sawit akan datang secara besar-besaran dengan tujuan untuk mencapai swasembada dalam produksi minyak.



Gambar 2.5 Serat Alam Kelapa Sawit dari Pohonnya (Khalil, 2012)

Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan serat kelapa sawit mesocarp merupakan dua jenis penting dari material berserat yang tersisa di pabrik kelapa sawit. Gambar dari tandan kosong ditunjukkan pada Gambar 2.5. Serat TKKS diekstraksi dengan proses retting dari tandan kosong. Hasil rata-rata dari serat TKKS adalah sekitar 400 g per tandan. Serat mesocarp ditinggalkan sebagai material limbah setelah proses ekstraksi minyak. Serat ini harus dibersihkan dari material berminyak dan kotor. Satu-satunya penggunaan material kaya selulosa yang sangat sering saat ini adalah sebagai bahan bakar boiler dan dalam pembuatan pupuk kalium.



Serat kelapa sawit bersifat keras dan tangguh, dan menunjukkan kesamaan dengan serat sabut dalam struktur selular. Sampai saat ini, tidak ada kerja yang sistematis telah dilakukan untuk mengevaluasi sifat morfologi dan fisik dari serat kelapa sawit (Sreekala dkk, 1997).

STKKS atau oil palm empty fruit bunch fiber (OPF) dikarakterisasi dalam hal kekuatan tarik, modulus Young, pertambahan panjang saat putus, rapat massa, dan lain sebagainya. Tabel 2.6 menunjukkan hasil yang dikumpulkan dari peneliti lainnya. Hasil yang dilaporkan oleh para peneliti tidak identik karena variasi dalam jenis serat kelapa sawit yang digunakan dan juga luas penampang tidak teratur yang berfluktuasi sepanjang OPF. Akibatnya, beberapa referensi melaporkan jarak yang besar pada nilai sifat mekanik (Mahjoub, Yatim, dkk, 2012). Tabel 2.7 menunjukkan sifat fisik-mekanik dari serat kelapa sawit.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)

Constituents	Range	References
Cellulose (%)	42.7–65	Khoo and Lee (1991), Sreekala et al. (1997), Hill and Khalil (2000b), Law et al. (2007), Khalil et al. (2008b)
Lignin (%)	13.2–25.31	Ismail et al. (1997), Sreekala et al. (1997), Hill and Khalil (2000b), Wirjosentono et al. (2004), AbuBakar et al. (2006), Khalil et al. (2007a), Rozman et al. (2007)
Hemicellulose (%)	17.1–33.5	Hill and Khalil (2000b), Khalil et al. (2007a), Law et al. (2007), Khalid et al. (2008a)
Holocellulose (%)	68.3–86.3	Khoo and Lee (1991), Ismail et al. (1997), Law and Jiang (2001), AbuBakar et al. (2006), Law et al. (2007), Rozman et al. (2007), Khalid et al. (2008a), Khalil et al. (2008b)
Ash content (%)	1.3–6.04	Ismail et al. (1997), Sreekala et al. (1997), Law and Jiang (2001), Wirjosentono et al. (2004), AbuBakar et al. (2006), Khalil et al. (2007a), Law et al. (2007), Rozman et al. (2007), Khalil et al. (2008b)
Extractives in hot water (100 °C) (%)	2.8–14.79	Khoo and Lee (1991), Ismail et al. (1997), Sreekala et al. (1997), Law and Jiang (2001), Wirjosentono et al. (2004), Law et al. (2007), Khalid et al. (2008a)
Solubles in cold water (30 °C) (%)	8–11.46	Sreekala et al. (1997), Wirjosentono et al. (2004)
Alkali soluble (%)	14.5–31.17	Khoo and Lee (1991), Ismail et al. (1997), Sreekala et al. (1997), Law and Jiang (2001), Wirjosentono et al. (2004), Law et al. (2007)
Alfa-cellulose (%)	41.9–60.6	Ismail et al. (1997), AbuBakar et al. (2006), Khalid et al. (2008a)
Alcohol–benzene solubility (%)	2.7–12	Ismail et al. (1997), Sreekala et al. (1997), Wirjosentono et al. (2004), Khalid et al. (2008a)
Pentosan (%)	17.8–20.3	Ismail et al. (1997), Khalil et al. (2007a)
Arabinose (%)	2.5	Law et al. (2007)
Xylose (%)	33.1	
Mannose (%)	1.3	
Galactose (%)	1.0	
Glucose (%)	66.4	
Silica (EDAX) (%)	1.8	
Copper (g/g)	0.8	
Calcium (g/g)	2.8	
Manganese (g/g)	7.4	
Iron (g/g)	10.0	
Sodium (g/g)	11.0	

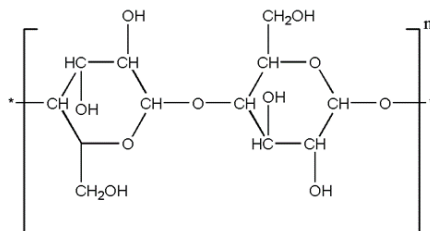


Tabel 2.7 Sifat Fisik-Mekanik dari Serat Kelapa Sawit (Shinoj, dkk, 2009)

Property	Range	References
Diameter (μm)	150–500	Sreekala and Thomas (2003), Bismarck et al. (2005), Jacob et al. (2006b)
Microfibrillar angle ($^{\circ}$)	46	Bismarck et al. (2005)
Density (g/cm^3)	0.7–1.55	Sreekala and Thomas (2003), Kalam et al. (2005), Khalil et al. (2007a), Rao and Rao (2007)
Tensile strength (MPa)	50–400	Sreekala et al. (2004), Bismarck et al. (2005), Kalam et al. (2005), AbuBakar et al. (2006), Yousif and Tayeb (2008)
Young's modulus (GPa)	0.57–9	Sreekala et al. (1997), Bismarck et al. (2005), AbuBakar et al. (2006), Jacob et al. (2006b), Khalil et al. (2007a), Yousif and Tayeb (2007)
Elongation at break (%)	4–18	Bismarck et al. (2005), Kalam et al. (2005), AbuBakar et al. (2006), Jacob et al. (2006b), Khalil et al. (2007a), Yousif and Tayeb (2007)
Tensile strain (%)	13.71	Rao and Rao (2007)
Length-weighted fiber length (mm)	0.99	Law et al. (2007)
Cell-wall thickness (μm)	3.38	
Fiber coarseness (mg/m)	1.37	
Fines ($<0.2 \text{ mm}$) (%)	27.6	
Rigidity index, $(T/D)^3 \times 10^{-4}$	55.43	

2.5.1 Selulosa

Selulosa merupakan suatu polisakarida yang mempunyai formula umum seperti pati ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) $_n$. Sebagian besar selulosa terdapat pada dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuhan-tumbuhan (Anggorodi, 1994). Selulosa merupakan substansi yang tidak larut dalam air yang terdapat di dalam dinding sel tanaman terutama dari bagian batang, tangkai dan semua bagian yang mengandung kayu. Selulosa merupakan homopolisakarida yang mempunyai molekul berbentuk linear (Lehninger et.al, 2000). Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut. Selulosa tidak mudah didegradasi secara kimia maupun mekanis. Di alam, biasanya selulosa berasosiasi dengan polisakarida lain seperti hemiselulosa atau lignin membentuk kerangka utama dinding sel tumbuhan (Holtzapple et.al, 2003). Struktur kimia selulosa ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.

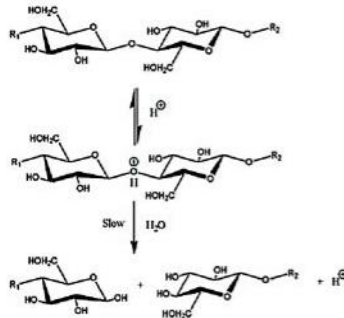


Gambar 2.6 Struktur Kimia Selulosa (Chen, 2014)



2.5.2 Nanocellulose

Nanocellulose diekstrak dari serat setelah kelarutan lengkap dari fraksi non-kristalin (Kalia, 2013). Berbagai metode isolasi seperti steam explosion, enzimatis dan hidrolisis asam telah digunakan untuk mengisolasi partikel kristalin. Di antara metode yang disebutkan tersebut, hidrolisis asam adalah yang terkenal dan selalu menjadi pendekatan utama. Pendekatan ini mengadopsi asam untuk memecah bagian selulosa yang berantakan dan amorfus, meninggalkan domain kristalin utuh. Selulosa kristalin ukuran nano diperoleh selalu disebut sebagai *NanoCrystalline Cellulose* (NCC), or *Cellulose NanoCrystals* (CNC) (Shanmugarajah dkk, 2015). Mengisolasi selulosa berukuran nano dari serat lignoselulosa dapat dicapai dengan menggunakan perlakuan kimia murni dari hidrolisis asam kuat mengakibatkan suspensi koloid agregat, tinggi kristal dan dengan rasio aspek rendah bundel fibril (Pääkkö *et al*, 2007).



Gambar 2.7 Proses Hidrolisis Selulosa (B. L. Peng, 2011)

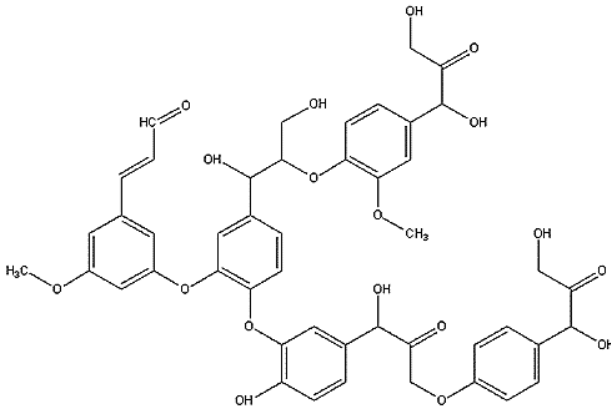
Pada umumnya, hidrolisis asam adalah proses utama untuk sintesis nanoselulosa. Hidrolisis asam melibatkan depolimerisasi rantai selulosa dengan pemecahan secara hidrolitik pada ikatan glikosida. Depolimerisasi selulosa terjadi secara acak, dimana asam cenderung menyerang selulosa amorf daripada kristal, sehingga mengakibatkan pembentukan ukuran seragam nanoselulosa (L. Brinci, 2013). Sehingga, daerah amorf dalam



mikrofibril selulosa mudah terurai menjadi kristal lebih pendek ketika lignoselulosa mengalami depolimerisasi (Beck-Candanedo, 2005). Hidrolisis asam juga menyebabkan turunnya stabilitas termal (Joao Paulo, 2012).

2.5.3 Lignin

Lignin ($C_9H_{10}O_2(OCH_3)_n$) adalah salah satu komponen penyusun tanaman yang bersama dengan selulosa dan bahan-bahan serat lainnya membentuk bagian struktural dan sel tumbuhan. Lignin, yang menyusun hingga 10-25% dari biomassa lignoselulosa, adalah polimer alam yang kedua paling melimpah. Lignin tidak larut dalam air dan stabil di alam dan bertindak sebagai "lem" yang menghubungkan selulosa dan hemi-selulosa (Watkins *et al.*, 2014). Pada batang tanaman, lignin berfungsi sebagai bahan pengikat komponen penyusun lainnya, sehingga suatu pohon bisa berdiri tegak. Kalau dianalogikan dengan bangunan, lignin dan serat-serat tanaman itu mirip seperti beton dengan batang-batang besi penguat di dalamnya, yang memegang serat-serat yang berfungsi seperti batang besi, sehingga membentuk struktur yang kuat (Young, 1986). Lignin adalah polimer alami yang terdiri dari molekul fenil propane yang terdapat di dalam dinding sel dan di daerah antar sel (atau lamela tengah).



Gambar 2.8 Struktur Kimia Lignin (Chen, 2014)



2.6 Hukum Pencampuran

Sifat-sifat komposit pada umumnya ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain: jenis, bentuk geometris dan struktur, rasio perbandingan, daya lekat, orientasi bahan penguat bahan penyusun, dan proses pembuatan (Sulistijono, 2012)

Total massa dari komposit ialah jumlah dari massa fiber dan matriks, dituliskan dengan persamaan:

$$m_c = m_m + m_f \quad (2.1)$$

$$\rho_c \cdot v_c = \rho_m \cdot v_m + \rho_f \cdot v_f \quad (2.2)$$

sehingga didapatkan massa jenis dari komposit:

$$\rho_c = (\rho_m \cdot v_m + \rho_f \cdot v_f) / v_c \quad (2.3)$$

apabila di rubah kedalam fraksi massa persamaannya menjadi:

$$\rho_c = 1 / (m_f / \rho_f + m_m / \rho_m) \quad (2.4)$$

dapat dituliskan dengan persamaan:

$$M_f + M_m = 1 \quad (2.5)$$

Dimana:

- m_c : massa komposit (gr)
- ρ_c : massa jenis komposit (gr/cm³)
- v_c : volume komposit (cm³)
- m_f : massa fiber (gr)
- ρ_f : massa jenis fiber (gr/cm³)
- v_f : volume fiber (cm³)
- m_m : massa matriks (gr)
- ρ_m : massa jenis matriks (gr/cm³)
- v_m : volume matriks (cm³)
- M_f : fraksi massa fiber
- M_m : fraksi massa matriks



2.7 Bunyi

Bruel dan Kjaer (1986) mendefinisikan bahwa bunyi identik dengan pergerakan gelombang di udara yang terjadi bila sumber bunyi mengubah partikel terdekat dari posisi diam menjadi partikel yang bergerak. Bunyi merupakan hasil getaran dari partikel-partikel yang berada di udara (Sound Research Laboratories Ltd, 1976) dan energi yang terkandung dalam bunyi dapat meningkat secara cepat dan dapat menempuh jarak yang sangat jauh (Egan, 1972). Bunyi merupakan gelombang longitudinal dengan membentuk rapatan-rapatan atau renggangan pada zat yang dilaluinya. Bunyi termasuk gelombang mekanik, karena dalam perambatannya bunyi memerlukan medium perantara, yaitu udara.

Syarat terdengarnya bunyi yaitu :

- Ada sumber bunyi yang bergetar
- Ada zat perantara (medium) yang merambatkan gelombang-gelombang bunyi, dari sumber bunyi ke telinga
- Getaran mempunyai frekuensi tertentu (20 Hz – 20.000 Hz)
- Indra pendengar dalam keadaan baik. (Yusril, 2013)

Gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang bunyi ini adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik ini (Sutrisno, 1988). Gelombang bunyi ini merupakan vibrasi/getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday, 1992). Apabila gelombang bunyi mencapai batas maka gelombang bunyi tersebut akan terbagi dua yaitu sebagian energi ditransmisikan/diteruskan dan sebagian lagi direfleksikan/dipantulkan (Giancoli, 1998).

Bunyi dapat didengar oleh telinga manusia, apabila mempunyai frekuensi antara 16 Hz sampai 6 kHz. Jangkauan



frekuensi ini disebut frekuensi audio (audible range). Frekuensi bunyi dibawah ambang batas pendengaran manusia (<16Hz) disebut frekuensi infrasonik. Sedangkan frekuensi diatas ambang batas pendengaran manusia (>16kHz) disebut frekuensi ultrasonik.

Secara umum tingkat frekwensi yang dipakai dalam pengukuran akustik lingkungan adalah 125. 250. 500. 1000. 2000 dan 4000 Hz atau 128. 256 .512. 1024. 2048. 2048 Hz. Tekanan bunyi dan frekwensi sangat berpengaruh terhadap kebisingan. (Munthe, 2008)

2.8 Material Akustik

Menurut (Lewis dan Douglas, 1993) material akustik dapat dibagi kedalam tiga kategori dasar, yaitu: (1) material penyerap (absorbing material), (2) material penghalang (barrier material), (3) material peredam (damping material).

Jumlah energi bunyi yang dipantulkan oleh suatu permukaan bergantung pada luas permukaan yang dikenainya. Dinding lantai, dan langit-langit datar dapat menjadi pemantul yang baik maupun sebaliknya. Bahan-bahan yang kurang tegar dan berpori seperti kain, tirai dan taplak perabotan merupakan bahan menyerap bunyi.

Proses pemindahan daya bunyi dalam ruangan tertentu untuk mengurangi tingkat tekanan bunyi disebut penyerapan bunyi. Proses ini berkaitan dengan penurunan jumlah energi di udara yang menjalar hingga mengenai suatu media berpori atau fleksibel. Energi terserap ketika gelombang bunyi yang dipantulkan dari disebut koefisien serapan bunyi dari material. Harga koefisien serapan bunyi ini tergantung dari sifat material, frekuensi bunyi dan sudut gelombang bunyi ketika mengenai permukaan material. Koefisien serapan bunyi (α) adalah:

$$\alpha = I_a / I_i \quad (2.1)$$

Dimana : I_a = Intensitas bunyi yang diserap (W/m²)

I_i = Intensitas bunyi yang terjadi (W/m²)

Total luas daerah yang diserap (*Total Room Sound Absorption*)

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n = \sum S_i \alpha_i \quad (2.2)$$



Dimana : A = Luas Permukaan yang diserap (m^2)
 S_n = Luas daerah permukaan (m^2)
 a_n = koefisien serapan dari permukaan material
Koefisien Serapan Rata-Rata (*Mean Absorption Coefficient*)
 $a_m = A / S$ (2.3)

Dimana : a_m = Koefisien Serapan Rata-Rata
 A = Luas Daerah Yang Diserap (m^2) (Munthe, 2008)

Ketika gelombang bunyi menumbuk material penyerap, maka energi bunyi sebagian akan diserap dan diubah menjadi panas. Besarnya penyerapan bunyi pada material penyerap dinyatakan dengan koefisien serapan (α). Koefisien serapan (α) dinyatakan dalam bilangan antara 0 dan 1. Nilai koefisien serapan 0 menyatakan tidak ada energi bunyi yang diserap dan nilai koefisien serapan 1 menyatakan serapan yang sempurna (Mediastika, 2009).

2.9 Material Penyerap Suara

Menurut Jorge P. Arena dan Malcolm J Crocker, material penyerap suara menyerap energi suara yang melewatinya membuatnya sangat berguna untuk mengontrol kebisingan. Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang telah ada. Pada tahun 1970-an, masalah kesehatan masyarakat membantu menemukan material utama bahan penyerap suara berbasis asbes untuk serat sintetis baru. Meskipun serat ini lebih aman bagi kesehatan manusia namun dapat berakibat pada pemanasan global. Produksi bahan sintetis berkontribusi pada emisi karbon dioksida, metana dan nitro oksida yang nantinya berbahaya pula bagi kesehatan manusia. Maka mulailah bermunculan penelitian penyerap suara yang memanfaatkan serat alami. (Lord HW, *et al*, 1987)

Terdapat beragam jenis material penyerap suara yang ada, material ini memiliki sifat absorbs yang bergantung pada frekuensi, komposisi, ketebalan, kehalusan permukaan dan metode pembuatan. Namun biasanya material yang memiliki nilai koefisien penyerap suara yang tinggi adalah material berpori.



Material penyerap berpori adalah material solid yang mengandung rongga sehingga gelombang suara dapat masuk melewatinya. Material penyerap berpori dapat diklasifikasikan sebagai selular, serat, dan granular pada konfigurasi mikroskopisnya. Material ini terdiri dari lubang kecil sebagai jalan masuknya gelombang suara. Sel *Polyurethane* dan foam adalah salah satu jenis dari material selular. Sementara material serat biasanya terdiri dari serat alami dan serat sintetis. Dan contoh dari granular material yaitu *asphalt*, tanah liat, pasir, tanah dan sebagainya (Arenas dan Crocker, 2010).

Untuk nilai koefisien penyerapan bunyi pada berbagai material dengan ketebalan tertentu dapat dilihat pada Tabel 2.8 dibawah ini.

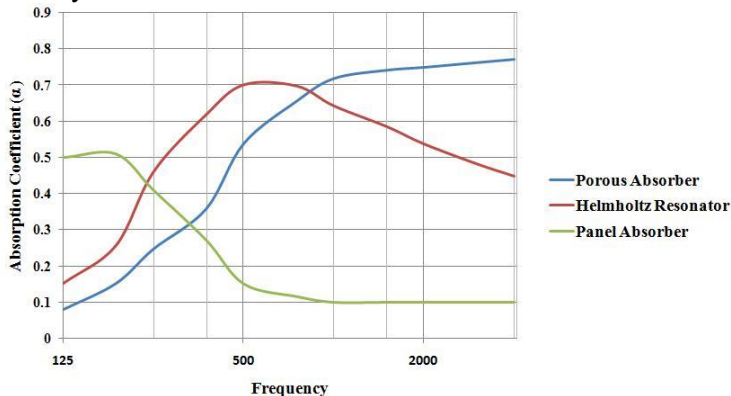
Tabel 2.8 Koefisien Absorpsi Beberapa Material (Doelle, 1993)

Material	Frekuensi (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Gypsum board</i> (13mm)	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Kayu	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Gelas	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Beton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Bata	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
<i>Steel deck</i>	0,58	0,64	0,71	0,63	0,47	0,40

Ada dua tipe utama bahan penyerap suara yaitu bahan penyerap suara berpori (Porous Absorber) dan penyerap suara tipe resonansi (Resonant Absorber). Tipe penyerap suara ini ditunjukkan pada Gambar 2.9. Bahan berpori seperti karpet, korden, foam, glasswool, rockwool, cellulose fiber, dan material lunak lainnya menyerap energi suara melalui energi gesekan yang terjadi antara komponen kecepatan gelombang suara dengan permukaan materialnya. Bahan penyerap suara tipe ini akan menyerap energi suara lebih besar di frekuensi tinggi.



Bahan penyerap suara tipe resonansi seperti panel kayu tipis, menyerap energi suara dengan cara mengubah energi suara yang datang menjadi getaran yang kemudian diubah menjadi energi gesek oleh material berpori yang ada di dalamnya (misal oleh udara atau material berpori). Ini berarti material tipe ini lebih sensitif terhadap komponen tekanan dari gelombang suara yang datang, sehingga lebih efektif apabila ditempelkan di dinding. Bahan penyerap tipe ini lebih dominan menyerap energi suara berfrekuensi rendah. Frekuensi resonansi bahan ini ditentukan oleh kerapatan massa dari panel dan kedalaman (tebal) rongga udara dibaliknya.



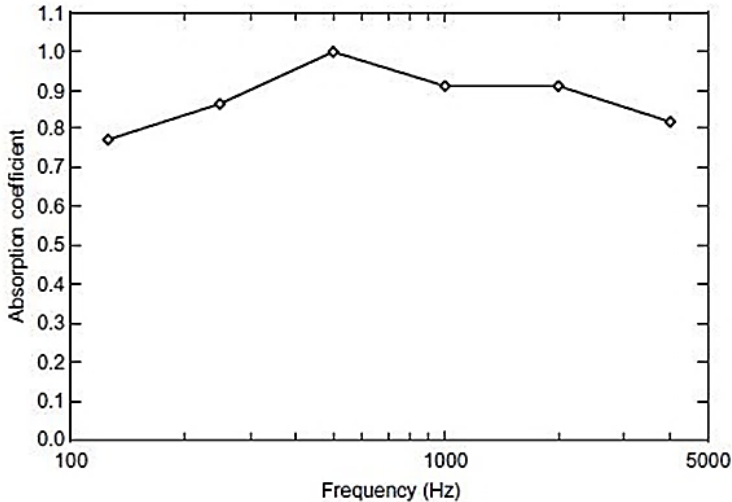
Gambar 2.9 Tipe Penyerapan Suara (Howard dan Angus, 2009)

Tipe lain dari bahan penyerap suara ini adalah Resonator Helmholtz. Efektifitas bahan penyerap suara tipe ini ditentukan oleh adanya udara yang terperangkap di pipa atau leher diatas bidang berisi udara. Permukaan berlubang menjadi ciri utama resonator yang bekerja pada frekuensi tertentu, tergantung pada ukuran lubang, leher dan volume ruang udaranya.

Apabila diinginkan sebuah material yang memiliki frekuensi kerja yang lebar (rendah, menengah, dan tinggi), maka harus digunakan gabungan ketiga bahan penyerap suara tersebut. Kombinasi antara proses gesekan dari komponen kecepatan



gelombang suara dan resonansi dari komponen tekanan gelombang suara akan membuat kinerja penyerapan energi suara oleh material besar untuk seluruh daerah frekuensi. Kurva tipe Wideband ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Zona Frekuensi Tipe Wideband (Howard dan Angus, 2009)

2.10 Door Panel

Secara umum, kebisingan pada interior kendaraan dipengaruhi oleh berbagai sumber; misalnya, mesin, knalpot, gerigi, roda, dan angin yang disebut sebagai sumber suara utama. Sumber suara sekunder adalah kaca dan logam. Jadi ada banyak faktor kebisingan yang mempengaruhi satu sama lain. (Nick, 2002).

Dalam dunia otomotif sekarang banyak digunakan pula material komposit pengganti logam. Dalam hal ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu, komponen body, chasis dan bagian mesin. Secara umum banyak diaplikasikan pada door panel dengan fiberglass dan



juga matriksnya yaitu polyester resin. Proses pembuatannya menggunakan sheet molding compound (SMC) atau compression molding. Tidak hanya untuk membuat door panel, tetapi SMC ini digunakan untuk membuat dashboard, bumper mobil, kap mobil (Courtesy of Molded Fiber Glass and American Composites Alliance, 2007)

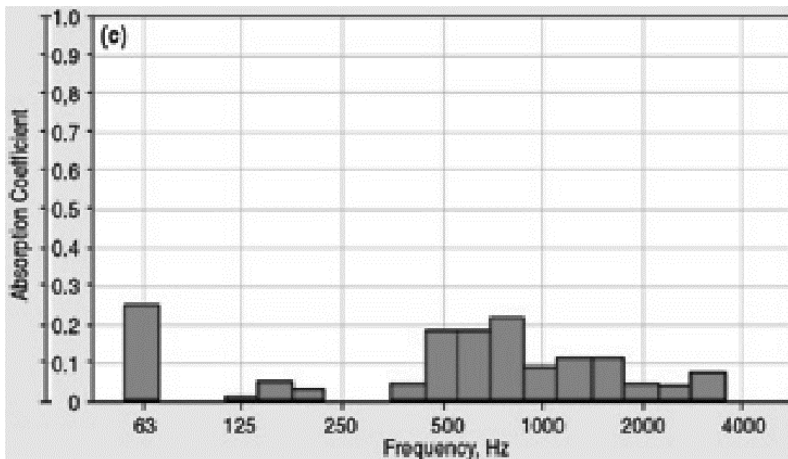
Door panel dalam adalah komponen yang digunakan untuk memperkuat perakitan pintu dan merupakan salah satu komponen yang paling penting di mana semua aksesoris dapat dipasang seperti engsel dan kaca. Door panel dalam bagian depan digunakan untuk menyegel tujuan ketika ambang utama dipasang pada ini. Berat Door panel dalam dekat sekitar 7 sampai 8 kg tergantung pada bahan dan ketebalannya. Metode yang mungkin adalah metode integrasi. Dalam metode integrasi, bagian yang dicap keluar dari kosong tunggal. Hal ini akan mengurangi jumlah peralatan yang diperlukan; biaya perakitan, dan menghilangkan masalah kemampuan kecocokan. Namun, insinyur desain dipaksa untuk bekerja dengan kelas, ketebalan, dan ketahanan korosi yang sama di seluruh bagian.

Kemudian komposit yang diperkuat serat dalam struktur sisi mobil dipelajari oleh Patberg dan rekan kerjanya pada tahun 1999, dalam makalah tersebut panel pintu sandwich dibentuk dengan penggabungan panel dalam dan luar (berlapis-lapis aksial dan berbasis resin epoxy) dan preformed busa (PUR) lapisan dengan ikatan perekat, itu berasal bahwa persyaratan mengenai kekakuan dan kekuatan dapat dipenuhi ketika mengadopsi struktur pintu komposit dan berat struktur dapat berkurang drastis. Sebuah solusi multi-material yang sedang terjadi sebagai salah satu yang sangat menarik, masalah teknologi bergabung harus hati-hati (Ji, 2015).

Dalam pembuatan door panel, telah ditetapkan standar pada sifat fisik, mekanik, dan absorbs suaranya. Menurut Marks (2008), densitas door panel yang dibutuhkan pada interior mobil biasanya berkisar antara 1,05-1,15 g/cm³. Menurut Gardiner (2013), standar untuk modulus kelenturan pada door panel bervariasi pada kisaran 18-33 MPa. Produk yang diuji antara lain: Wood-Stock® (18 Mpa),



Tecnogor® natural fiber (23 MPa), Tecnogor® mineral fiber (26 MPa), dan Gornaf® (33 MPa). Untuk produk Gornaf® sendiri sudah digunakan sebagai door panels Peugeot 406 Coupe. Gambar 2.11 menunjukkan koefisien estimasi penyerapan rata-rata dalam pita 1/3-oktaf untuk door panel-jendela mobil. Door panel-jendela mobil menunjukkan koefisien penyerapan suara cukup rendah sepanjang seluruh rentang frekuensi yang diselidiki, seperti yang bisa diharapkan. Pengujian dilakukan pada mobil diesel Volvo S60 yang mana menghasilkan koefisien absorpsi suara sebesar kisaran 0,3.



Gambar 2.11 Estimasi koefisien penyerapan suara pada door panel (Mørkholt, 2011)

2.11 Standar Nilai untuk Kebisingan (dB) pada Interior Kendaraan

Kebisingan telah ada sejak tahun 1929 dimana produksi kendaraan bermotor dan roda empat diproduksi. Pada tahun 1978 standard untuk kebisingan untuk interior sebuah kendaraan yaitu sebesar 82dB. Tetapi, untuk sekarang standard kebisingan diturunkan menjadi 65dB untuk mobil *Mercedes AMG*. Standard



ini sudah berlaku dan di diterapkan setelah tahun 1978, atau tepatnya tahun 2008 oleh beberapa negara di Eropa. Dalam produksinya mobil di Eropa harus melalui standard uji untuk kebisingan ini, karena jika tidak memenuhi akan ditarik dari produksi dan tidak bisa dipasarkan secara luas. Standard tersebut hanya berlaku untuk kendaraan umum atau bermesin bensin biasa. Untuk kendaraan besar dengan mesin diesel seperti *jeep* untuk *off-road*, standard kebisingannya berkisar antara 74-76 dB.

Hal ini sudah menjadi aturan baru bagi negara Eropa untuk memiliki mobil dengan standard kebisingan seperti diatas. Tentu akan menjadi illegal untuk menjual mobil tidak memenuhi standard kebisingan. Sebuah peraturan baru Uni Eropa sedang dirancang dan akan dipublikasikan mulai Juli 2016. Peraturan (UE) No 540/2014, menyatakan akan membuat aturan secara ketat selama 10 tahun untuk standard kebisingan tersebut, bersamaan juga dengan tes dan penyelidikan untuk mengetahui standard kebisingan sebuah kendaraan. Dimana pada tahun 2026 standard nilai suatu kebisingan untuk sebuah kendaraan sebesar 68 dB (A). (Sumber: *Auto decibel cars interior*)

2.12 Penelitian Terdahulu

Telah banyak penelitian mengenai pengaplikasian komposit dengan menggunakan serat alam sebagai material penyerap suara. Menurut Farid dan Erdin (2016), komposit serat bambu dengan *polyurethane* mempunyai kemampuan penyerapan suara yang berbeda-beda pada frekuensi tertentu. Pada frekuensi 500 Hz, nilai α (koefisien absorpsi) sebesar 0,404. Seiring bertambahnya frekuensi, besar α pun meningkat. Pada frekuensi 2000 Hz, nilai rata-rata α sebesar 0,428 dan frekuensi 4000 Hz, nilai rata-rata α sebesar 0,435. Selain itu, komposit *polyurethane* berpenguat serat kelapa mengalami peningkatan koefisien absorpsi seiring bertambahnya frekuensi. Nilai koefisien absorpsi terbaik terjadi pada frekuensi 2000 dan 4000 Hz yaitu sebesar 0.444 (Farid dan Rani, 2016). Akan tetapi, perlu diketahui bahwa semakin besar nilai dari koefisien absorpsi suara suatu material bukan berarti



bahwa material tersebut bagus, hal ini dikembali lagi pada kegunaannya (Suban dan Farid, 2015).

Komposisi pada pembuatan spesimen komposit sangat mempengaruhi dari hasil nilai koefisien absorpsi suara. Pengaruh dari serat yang ditambahkan pada material komposit bermatriks gypsum akan menghasilkan nilai koefisien absorpsi yang berbeda. Hal ini dikarenakan serat terdiri dari beberapa serat halus yang apabila dilihat dari mikroskop optik terlihat bahwa serat tersebut memiliki pori-pori yang mampu menampung suara. ikatan fisis antara serat sebagai penguat dan matriks gypsum juga akan membentuk rongga-rongga halus yang akan menampung suara yang diterima oleh spesimen komposit. (Farid dan Agung, 2015).

Sementara itu, Chan, dkk (2012) meneliti morfologi dari kompoit *Polyurethane*/serat kelapa dan didapatkan bahwa komposit tersebut memiliki *foam*/pori yang sangat banyak. Adanya foam tersebut menyebabkan komposit tersebut bisa dijadikan sebagai salah satu material akustik. Sedangkan Leleury (2012) mendapatkan nilai absorpsi tertinggi pada *Polyurethane* yaitu 0,4-0,65 Hz pada frekuensi 4000 Hz.

Sakti (2012) mendapatkan hasil bahwa dengan penambahan *blowing agent* akan memperbaiki dan memperbanyak *foam*. Dikarenakan *blowing agent* memiliki *boiling temperature* yang rendah sehingga ketika terjadi reaksi pada pembuatan *polyurethane* akan menguap dan memperbanyak foam.

Untuk mendapatkan sifat mekanik komposit yang baik, pada serat biasanya diberikan alkali treatment dengan cara direndam dengan larutan basa dengan waktu tertentu. Eriningsih (2009) mendapatkan hasil bahwa dengan perendaman serat rami akan mengakibatkan penurunan nilai α . Hal ini disebabkan karena dengan proses alkali akan menghilangkan kandungan gum pada serat yang terdiri dari lignin dan pektin, sehingga akan mengurangi jumlah void yang dihasilkan pada komposit, Besarnya fraksi void akan mempengaruhi sifat porositas, semakin tinggi fraksi void, maka akan menaikkan nilai α . Maryanti, dkk (2011) mendapatkan hasil bahwa konsentrasi larutan alkali untuk mendapatkan hasil



sifat mekanik yang maksimal pada komposit polyester/serat kelapa adalah sebesar 5%.

Selain itu, Saba *et al.* (2016) mendapatkan sifat mekanik maksimal untuk komposit epoksi berpenguat *nano filler* dari serat kelapa sawit pada penambahan *nano filler* sebanyak 3%, yang kemudian diikuti dengan penurunan sifat mekanik. Sifat mekanik yang didapat antara lain kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas. Pada pengujian, diperoleh kekuatan tarik sebesar 29 MPa, elongasi 1,4%, dan modulus elastisitas sebesar 1,25 GPa.

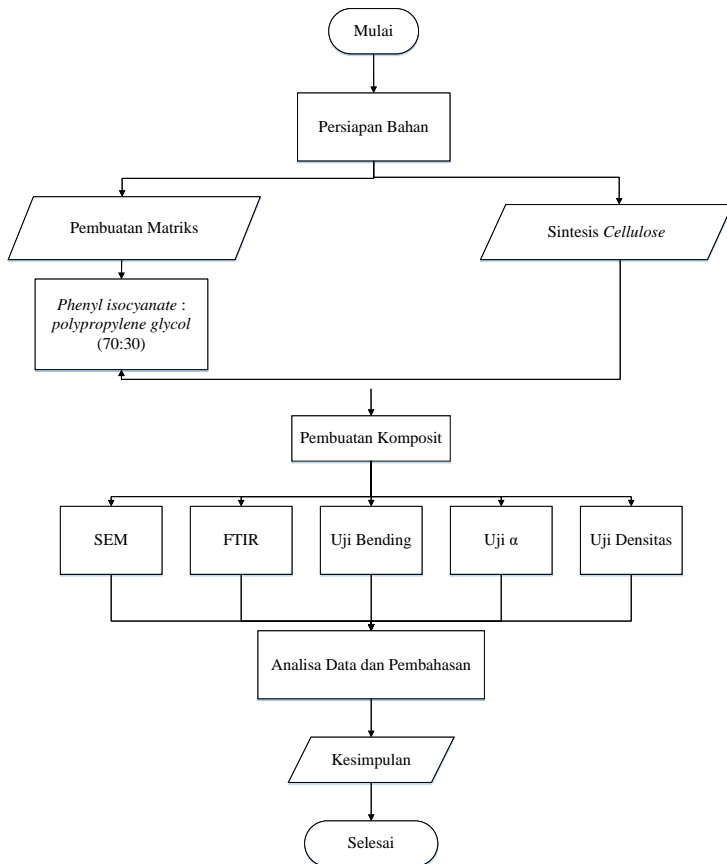
Berdasarkan penelitian terdahulu, masih dibutuhkan bahan akustik yang lebih baik lagi sifatnya, terutama pada koefisien absorpsi dan kuat lenturnya. *Cellulose* diharapkan mampu menghasilkan sifat mekanik pada komposit yang sesuai dengan standar door panel. Selain itu, *cellulose* juga mempengaruhi interface yang ada dengan matriks. Matriks yang dipilih adalah matriks yang berpori. Matriks berpori sangat baik digunakan sebagai bahan penyerap suara. *Cellulose* akan menyebabkan interface yang baik dengan meningkatkan jumlah pori yang ada. Sehingga, pada penelitian ini akan dilakukan sintesis komposit PU berpenguat *cellulose* dari STKKS untuk kemudian dilakukan analisa pengaruh penambahan massa dan ukuran *cellulose* terhadap morfologi, nilai koefisien absorpsi suara, dan kekuatan lentur dengan harapan dapat diaplikasikan pada door panel mobil.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Pembuatan dan Pengujian Komposit

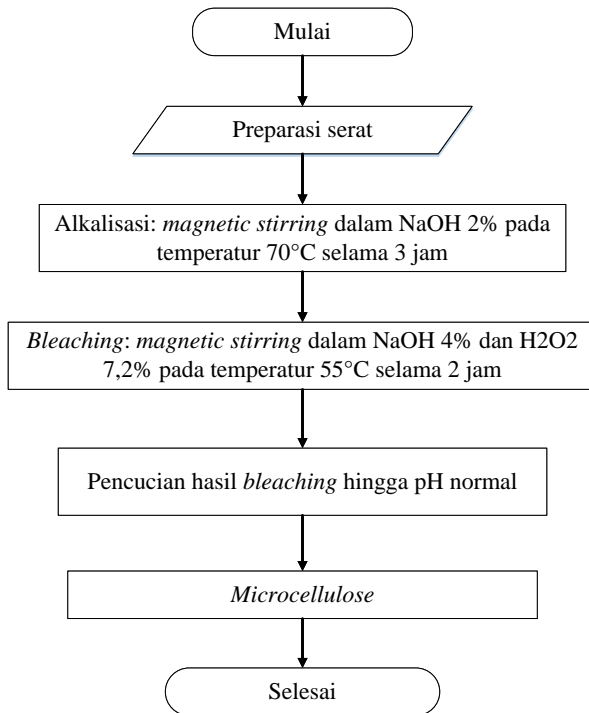
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 sampai 3.3.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit



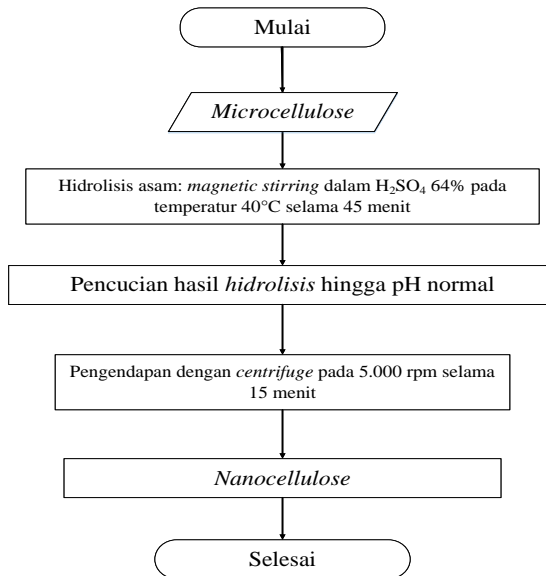
3.1.2 Sintesis *Microcellulose*



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pembuatan *Microcellulose*



3.1.3 Sintesis *Nanocellulose*



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pembuatan *Nanocellulose*

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.4 sampai 3.10.

1. Serat tandan kosong kelapa sawit (STKKS) berumur 6 tahun yang didapat dari Dumai, Riau



Gambar 3. 4 STKKS



2. *Purified water*



Gambar 3. 5 *Purified Water*

3. NaOH



Gambar 3. 6 NaOH

4. Polimer *phenyl isocyanate* (PPI)



Gambar 3. 7 *Phenyl Isocyanate*



5. Polimer *propylene glycol* (PPG)



Gambar 3. 8 *Propylene Glycol*

6. H_2O_2



Gambar 3.9 H_2O_2

7. H_2SO_4



Gambar 3. 10 H_2SO_4



3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Cetakan
Cetakan digunakan untuk mencetak spesimen uji
2. Timbangan digital
Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang akan digunakan
3. Penggaris
Penggaris digunakan untuk mengukur dimensi spesimen
4. Cutter
Cutter digunakan untuk melepaskan spesimen dari cetakan
5. Gelas Beker
Digunakan untuk mencampurkan larutan
6. Spatula
Digunakan untuk mengaduk larutan
7. Oven
Oven digunakan untuk mengeringkan serat. Oven yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS
8. Mesin pencacah organik
Mesin pencacah organik yang digunakan milik Laboratorium Kimia dan Bahan Alam milik Jurusan Teknik Kimia FMIPA ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3. 11 Mesin Pencacah Organik



9. Mesin *sieving*

Mesin *sieving* yang digunakan milik Laboratorium Fisika Material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12



Gambar 3. 12 Mesin *Sieving*

10. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*

Hot plate dan *magnetic stirrer* yang digunakan milik Laboratorium Inovasi Material milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS

11. Centrifuge

Digunakan untuk mengendapkan serat hasil hidrolisis. Centrifuge yang digunakan milik Laboratorium Limbah Padat dan B3 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.13



Gambar 3. 13 Alat *Centrifuge*



12. Alat Uji SEM

Alat SEM yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.14



Gambar 3. 14 Alat Uji SEM

13. Alat Uji Absorpsi Suara

Alat uji absorpsi suara milik Laboratorium Akustik Material di Jurusan Teknik Fisika FTI ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.15



Gambar 3. 15 Alat Uji Absorpsi Suara



14. Alat Uji FTIR

Alat uji FTIR yang digunakan milik laboratorium di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.16



Gambar 3. 16 Alat Uji FTIR

15. Alat Uji *Flexural*

Alat uji *flexural* yang digunakan milik Laboratorium Universitas Airlangga seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.17



Gambar 3. 17 Alat Uji *Flexural*



3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan ukuran dari filler yang digunakan yaitu mikro dan nano serta fraksi massa masing-masing ukuran dengan komposisi sebesar 1%, 3%, 5%, 10% dan 15%.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Persiapan Bahan

Untuk dapat melaksanakan pengujian, terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan. Persiapan bahan ini sangat penting untuk dilakukan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian dan dapat mempengaruhi hasil dari analisa dan pembahasan yang kita lakukan.

3.4.1.1 Pengolahan *Microcellulose*

1. Dilakukan penjemuran tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk menghilangkan kelembaban selama ± 2 hari
2. Diambil dan dibersihkan serat TKKS dari pengotor dengan air bersih
3. Dilakukan *mechanical crushing* STKKS dengan mesin pencacah organik
4. Dilakukan *meshing* serat STKKS untuk mendapatkan ukuran yang homogen ± 60 mesh
5. Dilakukan alkalisasi pada serat TKKS dengan NaOH 2% selama 3 jam pada temperatur 70°C menggunakan *magnetic stirrer*
6. Dicuci sampel hasil alkalisasi dengan air distilasi sampai pengotor pada permukaan hilang
7. Dilakukan *bleaching* dengan NaOH 4% dan H_2O_2 7,2% selama 2 jam pada 55°C menggunakan *magnetic stirrer*
8. Dicuci sampel hasil *bleaching* dengan air distilasi sampai pengotor pada permukaan hilang
9. Dikeringkan sampel hasil *bleaching* dengan oven pada temperatur 55°C



10. Ditimbang *microcellulose* sesuai perhitungan

3.4.1.2 Pengolahan *Nanocellulose*

1. Dilakukan hidrolisis asam pada *microcellulose* dengan menggunakan H_2SO_4 64% selama 45 menit pada temperatur 40°C menggunakan *magnetic stirrer*
2. Dilarutkan air sebanyak 10 kali dari jumlah H_2SO_4
3. Dilakukan pencucian dengan air hingga pH netral
4. Dilakukan pengendapan dengan *centrifuge* pada 5.000 rpm selama 15 menit
5. Diambil endapan *nanocellulose* dengan spatula dan disimpan dalam wadah
6. Ditimbang *nanocellulose* sesuai perhitungan

3.4.1.3 Pengolahan Matriks Polyurethane

Dimasukkan *Phenyl-Isocyanate* (*Polyurethane A*) dan *Polypropylene Glycol* (*Polyurethane B*) dalam wadah berbeda lalu ditimbang sesuai perhitungan

3.4.1.4 Pembuatan Cetakan

1. Dibuat cetakan uji absorpsi suara dengan diameter 100 mm dan tinggi 30 mm yang terbuat dari seng
2. Dibuat cetakan uji bending dengan ukuran 130x15x5 mm terbuat dari kayu

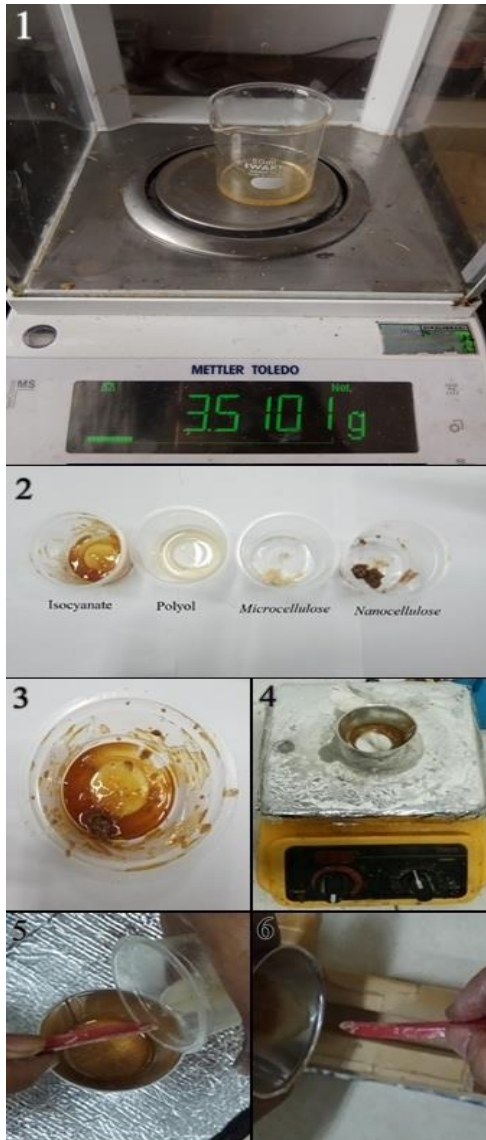
3.4.1.5 Pembuatan Komposit

1. Dilakukan dengan menimbang massa *phenyl isocyanate* dan *polypropylene glycol* sesuai dengan perbandingan komposisi yang ditentukan
2. Ditimbang, masing-masing, massa *microcellulose* dan *nanocellulose* sesuai dengan fraksi yang ditentukan
3. Dimasukkan, masing-masing, *microcellulose* dan *nanocellulose* yang telah ditimbang kedalam wadah yang berisi *phenyl isocyanate*, kemudian diaduk



hingga rata dengan *mechanical stirrer* selama 15 menit.

4. Dituangkan *polypropylene glycol* kedalam wadah dan diaduk hingga pencampuran homogen dan campuran menjadi berwarna terang
5. Dituangkan campuran tersebut kedalam cetakan dan didiamkan selama 1 hari
6. Dikeluarkan spesimen dari cetakan
7. Disesuaikan spesimen dimensinya dengan standar pengujian



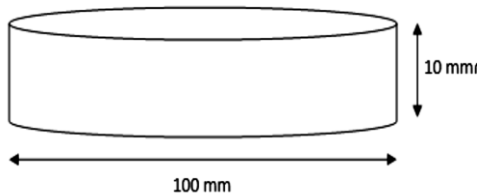
Gambar 3. 18 Proses Blending Pembuatan Komposit



3.4.2 Proses Pengujian

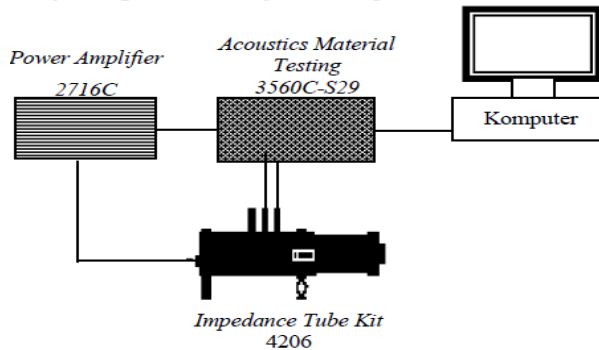
3.4.2.1 Pengujian Koefisien Absorpsi Suara

Peralatan yang digunakan untuk mengukur koefisien absorpsi suara adalah tabung impedansi dengan standarisasi menurut ASTM E1050. Pengujian dilakukan di Laboratorium Akustik Material, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITS. Dimensi spesimennya berbentuk tabung dengan diameter 100 mm dan tinggi 10 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Dimensi Spesimen Uji Absorpsi Suara

Pengujian absorpsi suara adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap suara. Kualitas material penyerap suara ditentukan dari harga α (koefisien penyerapan bahan terhadap bunyi). Semakin besar nilai α maka semakin baik kemampuan material tersebut dalam menyerap suara. Nilai α berkisar dari 0 sampai 1. Jika α bernilai 0 maka tidak ada bunyi yang diserap oleh material tersebut sedangkan jika α bernilai 1 maka 100 % bunyi yang datang diserap oleh material tersebut.



Gambar 3.20 Rangkaian Alat Uji Absorpsi Suara

Rangkaian alat dapat dilihat pada gambar 3.20, yang terdiri dari:

- 1) *Acoustic material testing 3560C-S29*: Untuk menganalisa sinyal yang diterima mikrofon
- 2) *Power Amplifier 2716C*: Untuk menguatkan gelombang bunyi
- 3) *Impedance Tube kit 4206*: Sebagai tempat pengukuran koefisien serapan sampel.
- 4) *Komputer*: Untuk mengolah dan menampilkan data pengujian .

Prinsip pengujian koefisien absorpsi suara adalah spesimen berbentuk lingkaran dimasukkan ke dalam bagian kepala tabung impedansi kemudian diatur frekuensi suara pada amplifier dengan frekuensi 125 – 4000 Hz maka speaker memberikan suara ke dalam tabung impedansi dan sound level meter.

Untuk pengujian absorpsi suara spesimen dibuat dengan cetakan pipa PVC dengan ukuran diameter 10c m dan tebal 1 cm. Pada pipa tersebut dilapisi dengan Aluminium Foil agar tidak terjadi reaksi antara spesimen dengan cetakan. Kemudian spesimen dirapikan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.21.



Gambar 3. 21 Spesimen Uji Absorpsi Suara

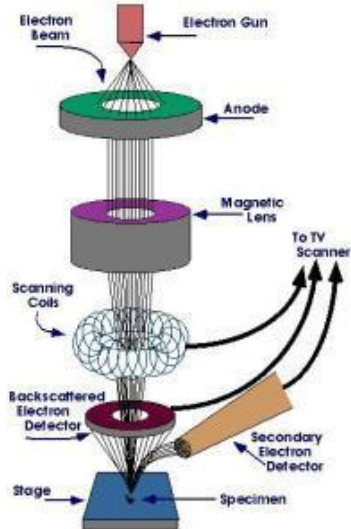
3.4.2.2 Pengujian SEM

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Standar yang digunakan adalah ASTM E986 - 04. Spesimen uji SEM dapat dilihat pada gambar 3.23. Alat SEM yang digunakan adalah FEI INSPECT S50. Sampel yang digunakan berupa lembaran yang dilengketkan pada holder dengan menggunakan selotip karbon double tape. Kemudian dimasukkan ke dalam alat pelapis autofine-coater JFC-1100 untuk melapisi sampel dengan lapisan tipis Au-Pd (80:20). Lalu, sampel dimasukkan dalam specimen chamber pada alat SEM.

Prinsip kerja dari SEM adalah seperti yang ditunjukkan gambar 3.22. Sebuah pistol elektron akan memproduksi sinar elektron, kemudian elektron tadi dipercepat oleh anoda, setelah itu lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel, elektron telah fokus tadi memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan



oleh koil pemindai, ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).



Gambar 3.22 Prinsip Kerja SEM (Zhou dan Zhang, 2000)



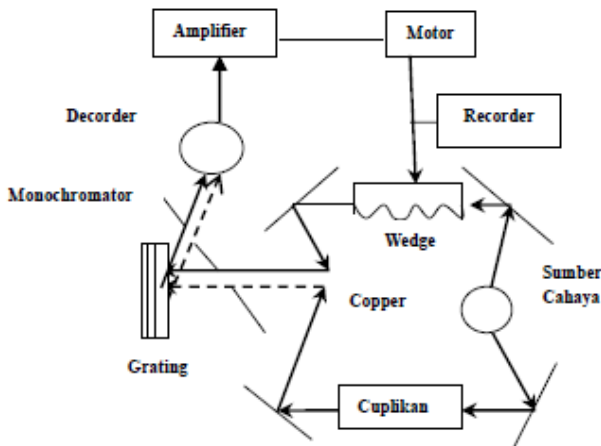
Gambar 3. 23 Spesimen Uji SEM



3.4.2.3 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada kelapa sawit. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pertama kali karena untuk mengetahui ikatan dari serat kelapa sawit serta untuk mengkonfirmasi apakah bahan yang dipakai telah sesuai. Spesimen uji FTIR dapat dilihat pada gambar 3.25.

Cara kerja mesin FTIR secara umum ditunjukkan pada gambar 3.24. Mula-mula, zat yang akan diukur diidentifikasi, berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati chopper. Setelah melalui prisma atau grating, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifikasi bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.



Gambar 3.24 Skema Uji FTIR (Zhou dan Zhang, 2000)

Standar yang digunakan adalah ASTM E1252. Mesin uji FTIR yang digunakan adalah Nicolet IS10. Sampel diletakkan



sample holder, kemudian detector didekatkan pada sampel. Pastikan sampel uji memiliki permukaan yang rata dan ketebalan yang sama. Scan inframerah yang khas dihasilkan di wilayah pertengahan inframerah dari spektrum cahaya. Daerah pertengahan inframerah adalah $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ wavenumbers, yang sama dengan panjang gelombang 2,5 sampai 25 mikron (10^{-3}mm).



Gambar 3. 25 Spesimen Uji FTIR

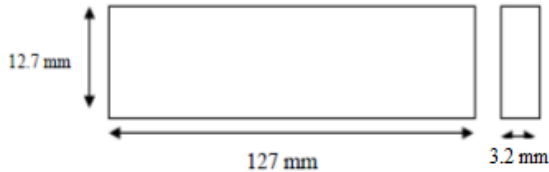
3.4.2.4 Pengujian *Flexural*

Nilai kelenturan digunakan untuk menunjukkan kekakuan dari suatu material ketika dibengkokkan. Pengujian kelenturan ini dilakukan dengan metode three point bend. Spesimen diletakkan pada kedua tumpuan dan dilakukan pembebanan ditengah spesimen. Mesin yang digunakan adalah mesin uji bending di Universitas Airlangga dengan spesifikasi alat Shimadzu AG-10TE.

Prosedur pengujian berdasarkan standar ASTM D790 dimana dimensi spesimen yang diuji ialah sebesar $127 \times 12.7 \times 3.2$



mm yang ditunjukkan oleh gambar 3.26. Spesimen uji *flexural* dapat dilihat pada gambar 3.27.



Gambar 3. 26 Dimensi Spesimen Uji *Flexural*

Kekuatan lentur suatu material dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_f = (3 PL / 2 bd^2) \quad (3.1)$$

Keterangan:

σ_f = Kekuatan Lentur (MPa)

L = Support Span (mm)

P = Beban Patah (N)

b = Lebar Spesimen (mm)

d = Tebal Spesimen (mm)



Gambar 3. 27 Spesimen Uji *Flexural*



3.4.2.5 Pengujian Densitas

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui besarnya densitas dari spesimen. Standar yang digunakan adalah ASTM D792. Untuk ukuran spesimen uji disesuaikan. Spesimen uji densitas dapat dilihat pada gambar 3.28. Spesimen ditimbang di udara kemudian ditimbang ketika direndam dalam air pada temperatur ruangan dengan menggunakan pemberat dan kawat untuk menahan spesimen benar-benar tenggelam sebagaimana dibutuhkan. Kepadatan dan berat jenis dihitung. Untuk menghitung massa jenis digunakan spesimen yang sama dengan spesimen absorpsi suara. Perhitungan massa dilakukan dengan mengukur massa dengan timbangan digital.



Gambar 3. 28 Pengujian Densitas

Untuk perhitungan pertama, mencari berat jenisnya:

$$\text{Berat jenis} = a / [(a + w) - b] \quad (3.2)$$

a = massa spesimen di udara.

b = massa spesimen dan pemberat (jika digunakan) dalam air.

w = massa pemberat tenggelam jika digunakan atau sebagian terendam dengan kawat.



$$\text{Densitas, kg / m}^3 = (\text{berat jenis}) \times (997,6) \quad (3.3)$$



Gambar 3. 29 Spesimen Uji Densitas

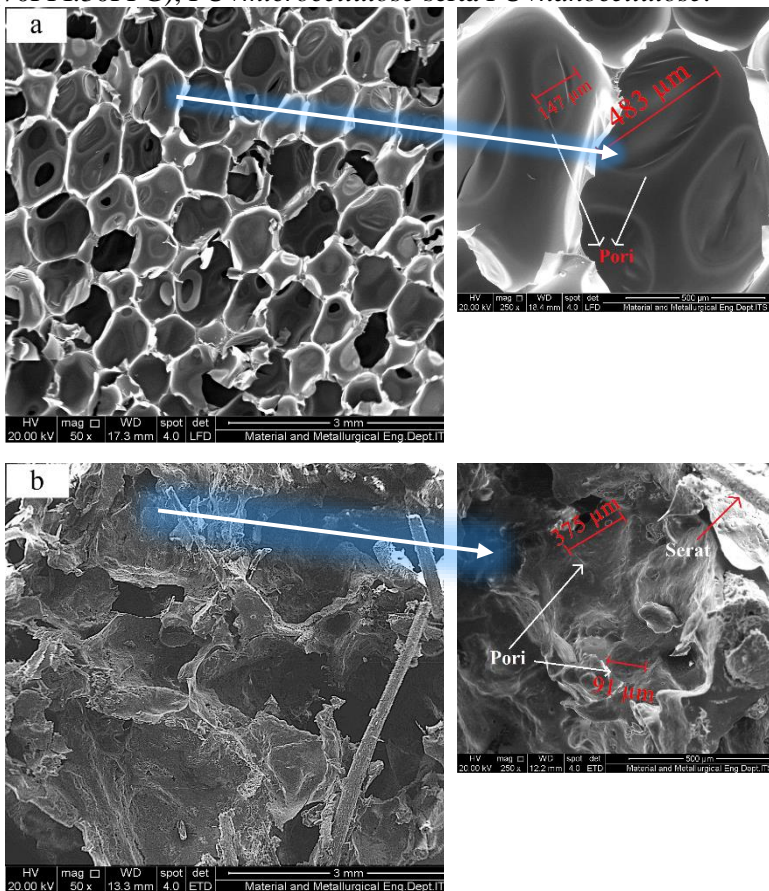
BAB IV

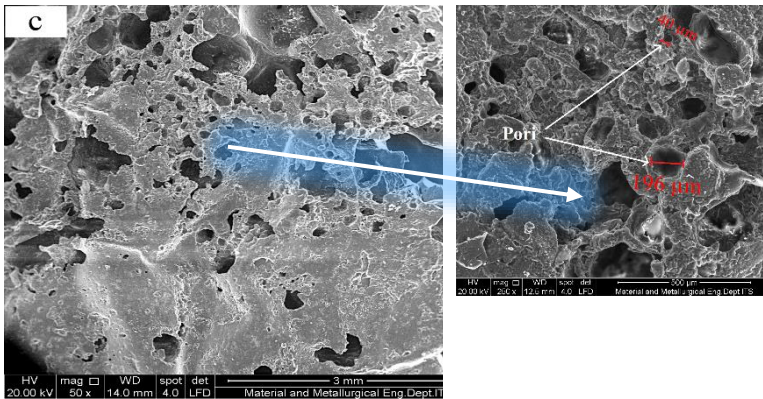
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Morfologi

4.1.1 Analisis SEM pada Komposit

Morfologi dari polyurethane murni dan komposit berpenguat *microcellulose* dan *nanocellulose* ditunjukkan pada gambar 4.1. Gambar tersebut menunjukkan hasil SEM pada PU (70PPI:30PPG), PU+*microcellulose* serta PU+*nanocellulose*.





Gambar 4. 1 Hasil SEM dengan Perbesaran 50x dan 250x dari Pengaruh Perbedaan Ukuran Spesimen dengan *cellulose*, PU (70PPG:30PPG) (a), PU+15% *microcellulose* (b) dan PU+15% *nanocellulose* (c)

Terlihat bahwa morfologi yang dihasilkan anisotropik secara keseluruhan. Pada polyurethane murni dengan komposisi penyusun 70:30 memiliki struktur sel tertutup. *Microcellulose* pada komposit terlihat secara samar dan tidak tersebar merata. Ketika ditambahkan serat, maka morfologi komposit PU dengan *microcellulose* dan *nanocellulose* menjadi tidak beraturan dan sel pori semakin mengecil. Hal ini disebabkan karena reaksi ikatan antara isocyanate dan polyol yang tidak sempurna jika ditambahkan dengan serat (Shan, 2012).

Gambar 4.1 menunjukkan hasil SEM pada PU (70PPI:30PPG), PU+*microcellulose* serta PU+*nanocellulose* dengan perbesaran 50x dan 250x. Gambar 4.1 (a) menunjukkan bahwa foam yang dihasilkan adalah *closed cell* dengan ukuran pori sekitar 147-483 μm . Terlihat bahwa pori pada polyurethane murni masih terlihat jelas. Gambar 4.1 (b) dan 4.1 (c) menunjukkan penambahan *microcellulose* dan *nanocellulose* menyebabkan foam yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Pada komposit berpenguat *microcellulose* menghasilkan pori dengan ukuran sekitar 91-375 μm dan pori tampak terdeformasi secara tidak merata (memecah

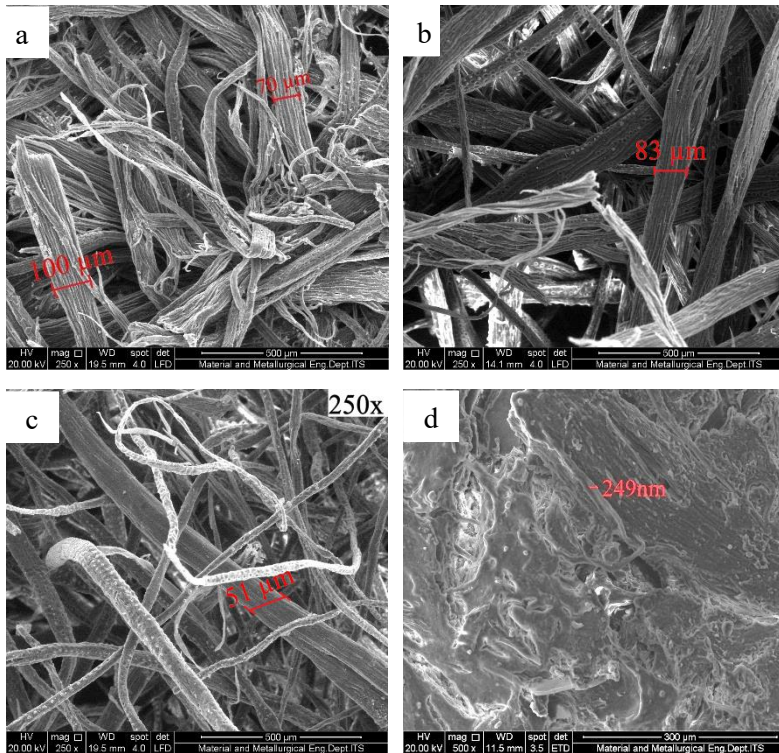


pori). Hal ini dikarenakan penambahan serat menyebabkan poros terdeformasi (Chan, 2012). Sedangkan pada komposit berpenguat *nanocellulose* menghasilkan pori berukuran sekitar 40-196 μm namun tampak terdeformasi secara merata dan bisa diamati adanya penambahan pori. Hal tersebut dikarenakan *nanocellulose* memiliki kemampuan untuk menambah pori dengan penyebaran yang merata (Svagan, 2009). Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Erdin dan Farid (2016), yakni penambahan serat bambu pada polyurethane dapat menyebabkan foam terdeformasi menjadi ukuran yang lebih kecil. Hasil observasi SEM yang sama ini pun juga terdapat pada penelitian Yesim Buyukakinci *et al.* (2011) bahwa dengan adanya filler atau penambahan serat cenderung memodifikasi mikrostruktur porositas PU menjadi sel yang lebih kecil dan menjadi tidak uniform.

Hasil SEM pada komposit berpenguat *nanocellulose* hampir tidak menunjukkan adanya serat. Hal ini dikarenakan ukuran serat yang kecil. (Zhou *et al.*, 2012) mendapati adanya *nanocellulose* pada hasil SEM komposit PVA berpenguat *nanocellulose*. Muncul titik putih pada hasil SEM. Titik-titik putih ini merupakan *nanocellulose* yang didapatkan dari hidrolisis asam.

4.1.2 Analisis SEM pada Filler

Morfologi dari filler ditunjukkan dengan fotomikrograph Scanning Electron Microscope. Filler yang dilihat morfologinya diuji berdasarkan tahapan perlakuan pada STKKS. Morfologi dari STKKS tiap perlakuan ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil SEM dengan perbesaran 250x pada STKKS setelah proses treatment; pencucian (a), alkali (b), bleaching (c), dan perbesaran 500x setelah melalui proses hidrolisis (d)

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa ada perbedaan morfologi dari masing-masing perlakuan. Pada Gambar 4.2(a) adalah TKKS yang hanya dicuci dengan air biasa (belum dikenai perlakuan kimia), menunjukkan serat yang masih kasar dengan ukuran diameter sekitar 70-100 μm . Menurut J. Rout, (2000), morfologi yang kasar ini disebabkan oleh kandungan lapisan lilin dan substansi lemak. Perbedaan terlihat pada Gambar 4.2(b), yaitu TKKS yang telah diproses alkalisasi dengan larutan NaOH 2%. Pada gambar terlihat bahwa permukaan menjadi lebih bersih dan

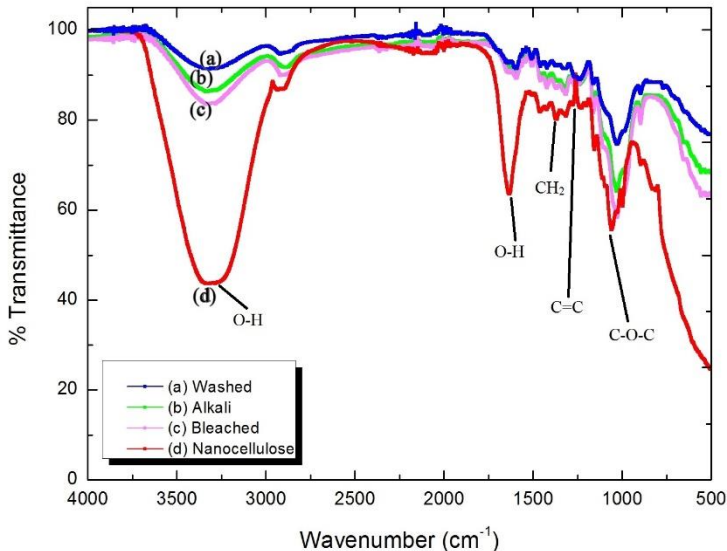


kekasaran berkurang serta hampir tidak ada pengotor. Menurut Izani (2012), lapisan lilin (lignin) pada permukaan menghilang karena interaksinya dengan NaOH sehingga permukaan menjadi lebih halus pada proses alkalisasi. Hal ini menyebabkan diameter berkurang, menjadi sekitar 50-83 μm . Gambar 4.2(c) menunjukkan bahwa ukuran diameter semakin kecil menjadi sekitar 25-51 μm dan permukaan semakin halus. Hal ini dikarenakan oleh *bleaching* dengan H_2O_2 dan NaOH yang bertujuan untuk menghilangkan lignin sisa alkali. Setelah dilakukan *bleaching* pada TKKS, kemudian dilakukan hidrolisis dengan asam sulfat 64%. Gambar 4.2(d) menunjukkan hasil hidrolisis, terlihat bahwa terjadi penggumpalan serat berukuran nano (249 nm). Struktur ini menunjukkan fiber mengalami pemecahan akibat proses hidrolisis yang memecah fiber-fiber selulosa. Mondragon (2014) mendapatkan bahwa panjang dan diameter *nanocellulose* adalah sekitar 403 ± 159 nm dan 10 ± 5 nm.

4.2 Analisis FTIR

4.2.1 Analisis FTIR pada Hasil Perlakuan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit (STKKS) mengandung komponen utama yaitu senyawa lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian FTIR dari berbagai perlakuan terhadap STKKS.



Gambar 4. 3 Hasil Uji FTIR dari Tiap Tahap Pengisolasian STKKS; Setelah Pencucian(a), Alkali (b), Bleaching (c), dan Hidrolisis (d)

Pita serapan terdeteksi dari beberapa sampel pada berbagai tahap, yaitu STKKS pada tahap pencucian, serat diberi perlakuan alkali, serat di-*bleaching* dan ketika sudah jadi *nanocellulose*. Tabel 4.1 menunjukkan daerah serapan infra merah pada hasil perlakuan STKKS.

Pada semua tahap, yang ditunjukkan oleh kisaran $3100\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ sebagai jenis gugus -OH stretching (dengan jenis *sharpening* pada 3400 cm^{-1}) yang mana diikuti dengan munculnya puncak 2900 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus C-H *stretching* (1). Puncak serapan sekitar 3300 cm^{-1} dan 2900 cm^{-1} muncul dimungkinkan karena keberadaan kelompok hidroksil dan C-H



alifatik jenuh dari peregangannya lignin dan selulosa, yang mana umumnya selaras dengan studi yang dilakukan oleh Alves *et al.* (2014) mengenai turunan selulosa. Pada puncak antara 3300 dan 3500 cm^{-1} menunjukkan ikatan O-H yang mengalami peregangannya. Alkalisasi mengakibatkan gugus hidroksil bereaksi dengan natrium hidroksida. Hal ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi $-\text{OH}$ jika dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan (Lojewska, 2005).

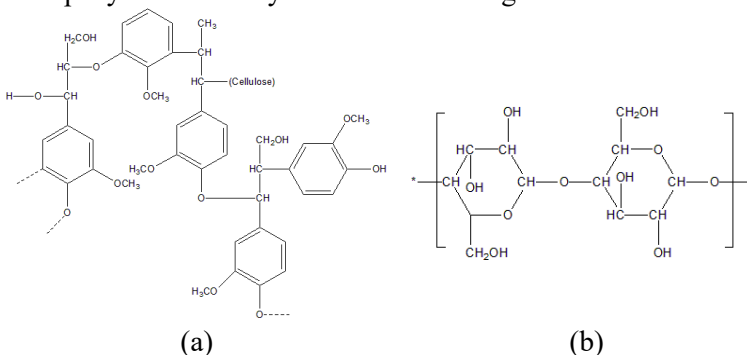
Menurut Lojewska (2005), ikatan $-\text{OH}$ bending pada daerah serapan sekitar 1590 cm^{-1} menunjukkan penyerapan air oleh selulosa. Pada pita serapan sekitar 1420 cm^{-1} , terdapat gugus CH_2 pada setiap tahap perlakuan STKKS. Daerah serapan sekitar 1420 cm^{-1} menunjukkan ikatan $-\text{CH}_2$ yang berdeformasi dalam selulosa. Daerah ini menunjukkan area kristalin, dimana daerah serapan akan meningkat seiring dengan proses pemurnian (L. Alves, 2014). Karakteristik puncak di kisaran 1.200 - 1.300 cm^{-1} berkaitan dengan getaran *aromatic skeletal*, yang mengindikasikan keberadaan lignin di STKKS yang dicuci dan yang dialkali yang dapat dikonfirmasi oleh penyerapan di puncak 1240 cm^{-1} dan 1235 cm^{-1} (Alves *et al.*, 2014). Perlakuan dengan NaOH dan *bleaching* menghilangkan kandungan lignin (E. Abraham, 2011). Ikatan C-O-C yang mengalami peregangannya didapat pada daerah serapan sekitar 1161 cm^{-1} . Pada puncak sekitar 1027 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-C yang mengalami peregangannya. Puncak pada daerah serapan sekitar 896 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H deformasi. Ikatan C-H ini disebut ikatan β -glukosida dalam gula (Shanmugarajah, 2015). Terdapat empat daerah serapan pada STKKS yang dihidrolisis yaitu 3330,61 cm^{-1} , 1631,84 cm^{-1} , 1059,47 cm^{-1} , dan 996,53 cm^{-1} , seperti yang ditunjukkan tabel 4.1. Masing-masing daerah serapan menunjukkan ikatan O-H stretching, O-H bending, C-C stretching, dan C-H deformasi. Daerah serapan yang muncul menunjukkan bahwa tidak adanya hemiselulosa dan lignin karena perlakuan hidrolisis asam (Shanmugarajah, 2015). Hal ini ditunjukkan dengan tidak munculnya daerah serapan sekitar 1200 cm dan 1400 cm yang identik dengan hemiselulosa dan lignin.



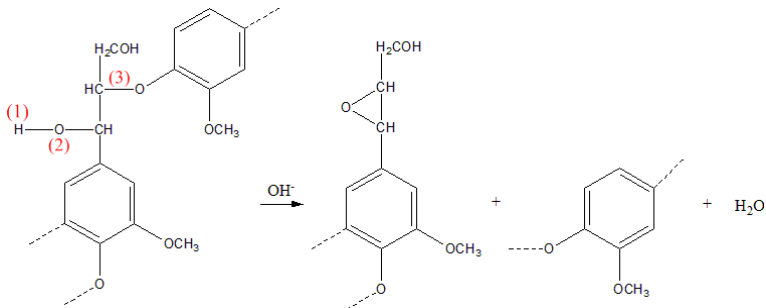
Tabel 4. 1 Daerah Serapan Infra Merah STKKS

Daerah Serapan (cm ⁻¹)				
Washed	Alkali	Bleaching	Hidrolisis	Ikatan dan Gugus Fungsi
3322.84	3333.30	3332.49	3330,61	O-H stretching
2918.62	2884.83	2917.49	-	C-H stretching
1593.46	1592.74	1593.90	1631,84	O-H bending
1420.29	1420.32	1420.34	-	CH ₂ deformasi
1238.97	-	-	-	C=C cincin aromatik
1161.32	1161.69	1161.31	-	C-O-C stretching
1027.49	1028.63	1028.61	1059.47	C-C stretching
895.52	895.57	896.48	996,53	C-H deformasi

Pada Gambar 4.4 adalah struktur kimia lignin dan selulosa pada TKKS yang belum diberi perlakuan. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.3 yang menunjukkan adanya struktur kimia penyusun TKKS yaitu selulosa dan lignin.

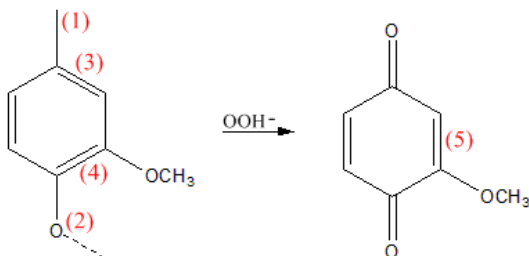


Gambar 4.4 Struktur Kimia pada TKKS Mentah atau *Washed*
(a) Lignin, (b) Selulosa



Gambar 4.5 Reaksi pada Proses Alkali

Gambar 4.5 menunjukkan reaksi yang terjadi saat alkalisasi. Lignin bereaksi dengan larutan NaOH yang terdisosiasi menjadi Na^+ dan OH^- . Ion OH^- bereaksi dengan gugus H pada lignin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 (1), kemudian membentuk H_2O . Hal ini menyebabkan gugus O pada Gambar 4.5 (2) membentuk radikal bebas dan reaktif dengan C membentuk cincin epoksi (C-O-C). Sehingga menyebabkan serangkaian gugus melepaskan ikatan pada gugus O seperti pada Gambar 4.5 (3). Reaksi menghasilkan dua cincin benzene yang terpisah, dimana masing-masing cincin memiliki gugus O yang reaktif. Gugus O reaktif ini bereaksi dengan Na^+ dan ikut larut dalam larutan basa sehingga lignin hilang apabila dibilas. Selain itu, reaksi ini juga menghasilkan H_2O . Karena selulosa bersifat hidrofilik, maka H_2O diikat oleh selulosa yang menyebabkan konsentrasi ikatan O-H meningkat pada hasil FTIR TKKS alkalisasi seperti pada Gambar 4.3.



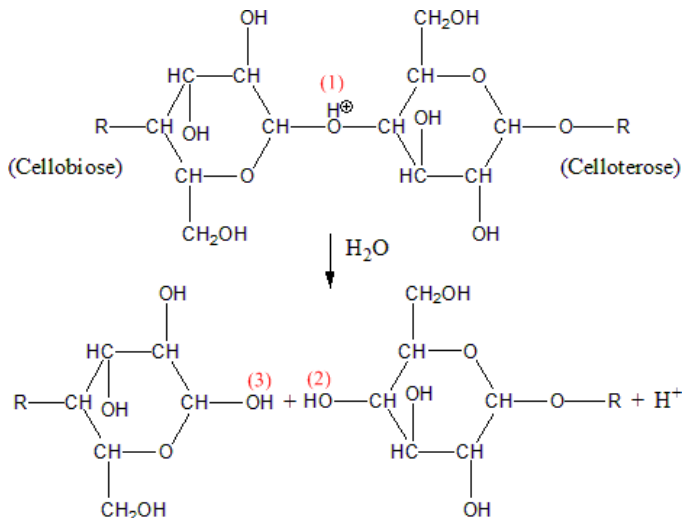
Gambar 4.6 Reaksi pada Proses *Bleaching*

Gambar 4.6 menunjukkan reaksi yang terjadi pada proses *bleaching*. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan sisa lignin dari proses alkali dengan memutus ikatan rangkap pada cincin benzene sehingga ikatan C=C berkurang, kemudian hilang. Dapat dilihat bahwa adanya ion OOH^\bullet yang berasal dari reaksi H_2O_2 dan OH^- dari NaOH yang terdisosiasi. Ion OOH^\bullet bereaksi pada salah satu gugus seperti pada Gambar 4.6 (1) membentuk gugus O yang memiliki ikatan rangkap. Sehingga ikatan rangkap dalam benzene pada Gambar 4.6 (3) hilang dan berikatan rangkap dengan O. Hal ini menyebabkan tidak stabilnya gugus benzene, oleh karena itu ikatan rangkap pada Gambar 4.3 akan menstabilkannya dengan membentuk ikatan rangkap penstabil seperti pada Gambar 4.6 (5). Sehingga gugus O seperti pada Gambar 4.6 (2) cenderung membentuk ikatan rangkap juga untuk menstabilkan gugus dalam benzene dengan memutuskan ikatan dengan gugus yang lain. Pada reaksi ini, ikatan rangkap C=C seperti pada Gambar 4.6 (3) dan (4) hilang. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR bahwa ikatan C=C akan berkurang seperti pada Gambar 4.3. Gugus radikal OH^\bullet yang terlepas dari ion OOH^\bullet yang telah bereaksi kemudian terikat bersama selulosa sehingga membuat konsentrasi ikatan O-H pada selulosa meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.3.

Pada Gambar 4.7 menunjukkan reaksi hidrolisis asam pada selulosa. Asam sulfat yang diencerkan dengan air akan membentuk ion H_3O^+ yang kemudian ion H^+ bereaksi dengan salah satu cincin



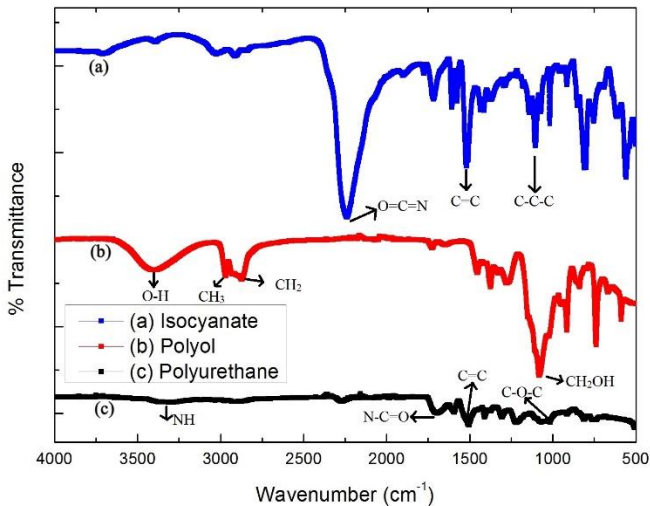
selulosa (*celloteroose*) seperti pada Gambar 4.7 (1) membentuk ikatan O-H pada Gambar 4.7 (2). Reaksi ini menghasilkan H_2O yang kemudian H_2O akan bereaksi dengan cincin selulosa yang satunya (*cellobiose*) membentuk ikatan O-H seperti Gambar 476 (3) dan menghasilkan ion H^+ . Meningkatnya ikatan O-H sesuai dengan hasil uji FTIR pada Gambar 4.3 yang menunjukkan kenaikan konsentrasi ikatan O-H.



Gambar 4.7 Reaksi Hidrolisis pada *Cellulose*

4.2.2 Analisis FTIR pada Polyurethane

Polyurethane A (isocyanate) dan Polyurethane B (polyol) merupakan bahan untuk membuat Polyurethane. Gambar 4.8 menunjukkan hasil uji FTIR pada isocyanate, polyol, dan polyurethane.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil FTIR pada Isocyanate (a), Polyol (b), dan Polyurethane (c)

Tabel 4.2 menunjukkan wavenumber dari puncak-puncak hasil pengujian FTIR terhadap Isocyanate. Dari tabel tersebut, terdapat ikatan $O=C=N$ atau gugus cyanate pada puncak gelombang $2239,64 \text{ cm}^{-1}$ yang menandakan bahwa gugus cyanate merupakan Isocyanate. Terdapat juga gugus aromatik dengan ikatan $C=C$ pada puncak gelombang $1518,77 \text{ cm}^{-1}$, $C-C-C$ pada $1104,09 \text{ cm}^{-1}$. Hasil pengujian FTIR pada isocyanate dapat ditunjukkan oleh gambar 4.8 (a).

Tabel 4. 2 Daerah Serapan Infra Merah Isocyanate

Daerah Serapan (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
2239.64	$O=C=N$	Cyanate
1518.77	$C=C$	Aromatik
1104.09	$C-C-C$	Alkana

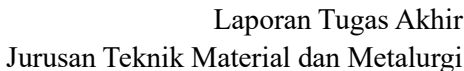


Hasil pengujian FTIR pada polyol ditunjukkan oleh gambar 4.8 (b). Tabel 4.3 menunjukkan wavenumber dari puncak-puncak hasil pengujian FTIR terhadap Polyol. Dari tabel tersebut, ikatan OH pada puncak gelombang $3403,79\text{ cm}^{-1}$ dan CH_2 pada puncak gelombang $2872,27\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus glycol. Sehingga bisa disimpulkan bahwa gugus glycol adalah Polyol. Selain itu terdapat juga ikatan CH_3 pada puncak gelombang $2969,18\text{ cm}^{-1}$ dan 1453 cm^{-1} serta ikatan CH_3 pada $2969,18\text{ cm}^{-1}$ dan ikatan CH_2OH pada $1081,30\text{ cm}^{-1}$.

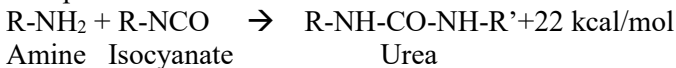
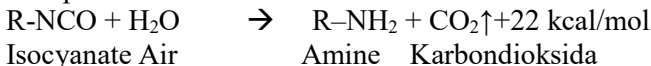
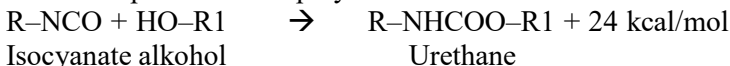
Tabel 4. 3 Daerah Serapan Infra Merah Polyol

Daerah Serapan (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
3403.79	OH	Hidroksil
2969.18	CH_3	Alkana
2872.27	CH_2	Alkana
1453.08	CH_3	Alkana
1081.30	CH_2OH	Hidroksil
738.72	CH_2	Alkana

Gambar 4.8 (c) menunjukkan terdapat gugus urethane yaitu N-C=O serta ikatan NH yang menunjukkan gugus dari material Polyurethane. Tabel 4.4 menunjukkan wavenumber dari puncak-puncak data hasil pengujian FTIR terhadap Polyurethane (PPI70:PPG30). Dari tabel tersebut, terdapat gugus Urethane yaitu N-C=O pada puncak gelombang 1704 cm^{-1} serta ikatan NH pada puncak gelombang 3299 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa material tersebut merupakan Polyurethane. Selain itu terdapat gugus aromatik dengan ikatan C=C pada puncak gelombang 1528 cm^{-1} , gugus Ether dengan ikatan C-O-C pada 1050 cm^{-1} .



Daerah Serapan (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3299	NH	Amine
2871	CH ₂	Alkana
2254	N-C=O	Urethane
1528	C=C	Aromatik
1223	C-N	Nitril
1050	C-O-C	Eter

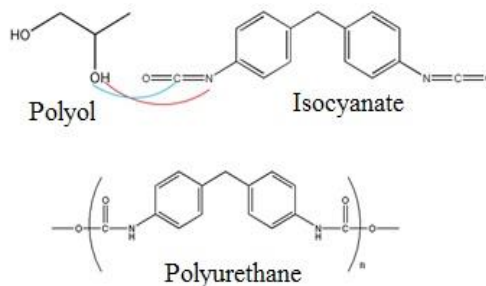




Adanya senyawa hidrogen aktif dalam air akan mempercepat reaksi antara air dan isocyanate, dimana reaksi tersebut diawali dengan memproduksi asam karbamat yang tidak stabil sehingga cepat terdekomposisi menjadi amine dan melepaskan gas CO_2 . Selanjutnya amine akan bereaksi dengan isocyanate yang belum terkonversi untuk menghasilkan urea sebagai hard segment.

Halokarbon dan hidrokarbon dipilih sebagai blowing agent sebab memiliki titik didih pada atau mendekati suhu kamar. Karena reaksi polimerisasi bersifat isotermik, blowing agent ini menguap menjadi gas saat proses reaksi berlangsung. Keduanya mengisi dan memuaikan matriks polimer, menciptakan foam. Sel foam merupakan hasil blowing agent yang tercampur baur ke dalam gelembung yang diaduk ke dalam sistem di waktu pencampuran. Kenyataannya, foam mikroseluler berdensitas tinggi bisa dibentuk tanpa penambahan blowing agent dengan pembuihan secara mekanis komponen poliol sebelum digunakan (Wang, 1998).

Hasil pengujian pada Isocyanate yang terdapat pada tabel 4.2 menunjukkan adanya gugus cyanate dengan ikatan $\text{N}=\text{C}=\text{O}$, dan juga gugus aromatic $\text{C}=\text{C}$ yang menunjukkan identifikasi utama dari Isocyanate. Hasil pengujian pada Polyol yang terdapat pada tabel 4.3 menunjukkan adanya gugus fungsi alkohol dengan OH dan beberapa ikatan dengan gugus alkane yang merupakan identifikasi utama dari Polyol. Polyurethane dibuat dengan mereaksikan gugus Cyanate pada Isocyanate dan Glycol pada Polyol sehingga membentuk gugus Urethane seperti pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Skema Reaksi pada Polyurethane (Kricheldorf,

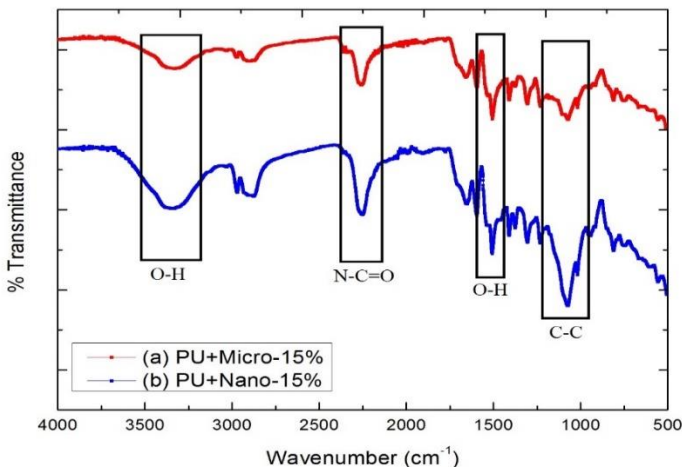


2005)

Hasil pengujian Polyurethane yang terdapat pada tabel 4.4 menunjukkan adanya gugus fungsi aromatik $C=C$, ikatan NH , gugus fungsi ether $C-O-C$ dan juga terdapat gugus urethane yaitu $N-C=O$ yang merupakan identifikasi utama dari Polyurethane.

4.2.3 Analisis FTIR pada Komposit

Dari hasil uji FTIR ini akan dianalisa komposit polyurethane dengan *microcellulose* dan *nanocellulose*. Gambar 4.10 menunjukkan hasil uji FTIR pada dua buah komposit, yaitu polyurethane berpenguat *microcellulose* dan berpenguat *nanocellulose*. Grafik keduanya memiliki daerah serapan yang sama. Hal tersebut dapat mengindikasikan tidak terjadi reaksi antara polyurethane dengan *microcellulose* dan *nanocellulose* sehingga dapat menghasilkan komposit berpenguat *cellulose*.



Gambar 4. 10 Pengaruh Perbedaan Ukuran dengan Fraksi Penambahan 15% Filler pada Komposit Berbasis PU Terhadap Hasil Uji FTIR



Tabel 4. 5 Daerah Serapan Infra Merah PU+Micro-15%

Daerah Serapan (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
3332,60	O-H	Hidroksil
2900,20	C-H	Alkana
2257,29	N-C=O	Urethane
1658,35	N-C=O	Urethane
1593,74	O-H	Hidroksil
1505,57	C=C	Aromatik
1408,86	CH_2	Alkana
1229,02	C-O-C	Eter
1071,11	C-O-C	Eter
1016,71	C-C	Alkana

Tabel 4.5 menunjukkan wavenumber dari daerah serapan data hasil pengujian FTIR terhadap komposit polyurethane berpenguat *microcellulose*. Dari tabel tersebut, terdapat gugus urethane yaitu N-C=O pada daerah serapan $2257,29 \text{ cm}^{-1}$ dan $1658,35 \text{ cm}^{-1}$ serta ikatan NH pada daerah serapan $3332,60 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan bahwa material tersebut merupakan polyurethane. Selain itu terdapat ikatan CH pada daerah serapan $2900,20 \text{ cm}^{-1}$, gugus aromatik dengan ikatan C=C pada $1505,57 \text{ cm}^{-1}$, gugus eter dengan ikatan C-O-C pada $1229,02 \text{ cm}^{-1}$ dan $1071,11 \text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan yang menunjukkan adanya *microcellulose* yaitu $2900,20 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-H, $1593,74 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan O-H, $1408,86 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan CH_2 , dan $1016,71 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-C.



Tabel 4. 6 Daerah Serapan Infra Merah PU+Nano-15%

Daerah Serapan (cm^{-1})	Ikatan	Gugus Fungsi
3338,82	O-H	Hidroksil
2874,36	C-H	Alkana
2251,18	N-C=O	Urethane
1651,04	N-C=O	Urethane
1594,46	O-H	Hidroksil
1506,45	C=C	Aromatik
1230,07	C-O-C	Eter
1073,13	C-O-C	Eter
1016,91	C-C	Alkana
943,58	C-H	Alkana

Tabel 4.6 menunjukkan wavenumber dari daerah serapan data hasil pengujian FTIR terhadap komposit polyurethane berpenguat *nanocellulose*. Dari tabel tersebut, terdapat gugus urethane yaitu N-C=O pada daerah serapan $2251,18 \text{ cm}^{-1}$ dan $1651,04 \text{ cm}^{-1}$ serta ikatan NH pada daerah serapan $3338,82 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan bahwa material tersebut merupakan polyurethane. Selain itu terdapat ikatan CH pada daerah serapan $2874,36 \text{ cm}^{-1}$, gugus aromatik dengan ikatan C=C pada $1506,45 \text{ cm}^{-1}$, gugus eter dengan ikatan C-O-C pada $1230,07 \text{ cm}^{-1}$ dan $1073,13 \text{ cm}^{-1}$. Daerah serapan yang menunjukkan adanya *nanocellulose* yaitu $2874,36 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-H, $1594,46 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan O-H, $1016,71 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-C, dan $943,58 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-H.

Dari hasil FTIR komposit, terdapat perbedaan intensitas daerah serapan yang signifikan, yaitu pada *range* sekitar 3300 cm^{-1} , 2250 cm^{-1} , dan 1070 cm^{-1} . Pada daerah serapan 3300 cm^{-1} terjadi perbedaan yang diakibatkan karena adanya perbedaan daerah

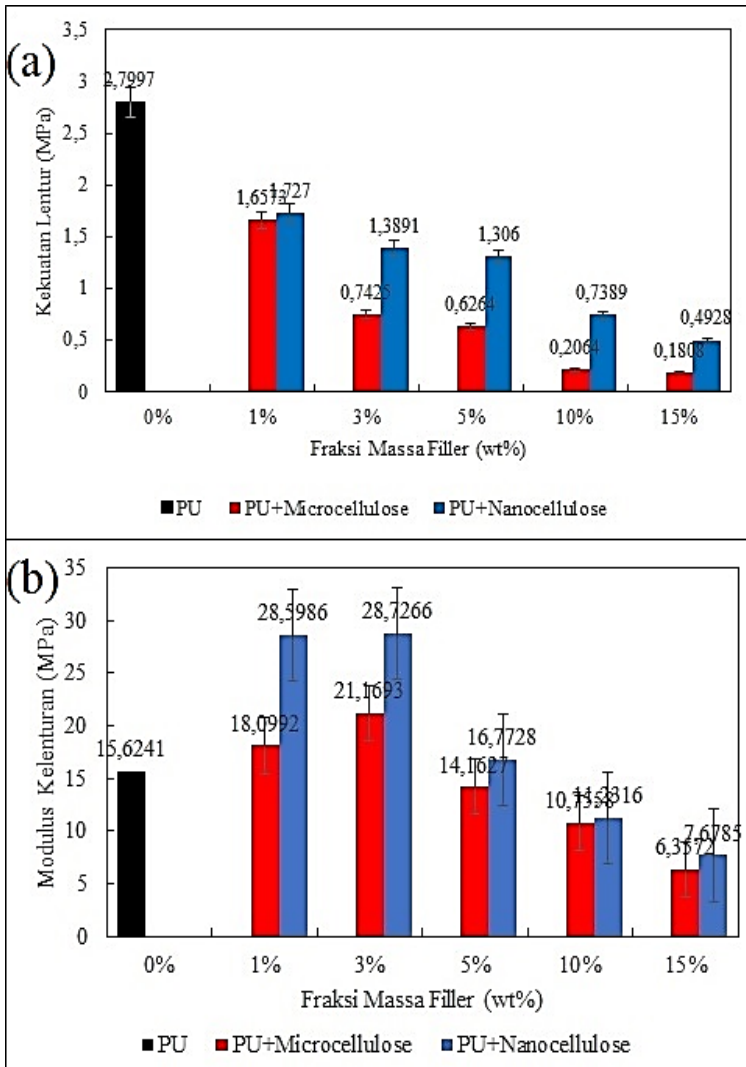


serapan O-H pada kedua filler. Daerah serapan yang muncul pada komposit berpenguat *nanocellulose* menunjukkan bahwa tidak adanya hemiselulosa dan lignin karena perlakuan hidrolisis asam (Shanmugarajah, 2015). Dengan begitu, selulosa yang didapatkan akan semakin murni pada *nanocellulose*. Pada *range* daerah serapan sekitar 2250-2300 cm^{-1} terdapat perbedaan intensitas yang diperkirakan bahwa gugus hidroksil dan ion lainnya yang ada pada permukaan *nanocellulose* bisa memegang peran penting dalam dispersi komposit. Gugus hidroksil pada permukaan *nanocellulose* dapat berinteraksi dengan rantai matriks *polyurethane* dengan bereaksi dengan gugus *isocyanate* bebas dan/atau melalui ikatan hidrogen melalui gugus N-H dan C=O, dikarenakan ikatan hidrogen pada *nanocellulose* lebih banyak intensitasnya dibandingkan *microcellulose*. Pengaruh *nanocellulose* pada pembentukan jaringan selanjutnya diikuti dengan penentuan hubungan ikatan N-H secara kuantitatif dari intensitas dan puncak yang sesuai. Ikatan NH yang 'berhubungan' merupakan ikatan NH yang berikatan dengan C=O melalui ikatan hidrogen (Amin, 2016), seperti yang ditunjukkan gambar 4.10. Pada daerah serapan 1016-1500 cm^{-1} memiliki intensitas yang meningkat setelah penambahan *nanocellulose*. Hal ini berkaitan dengan daerah serapan dari ikatan-ikatan yang merupakan jenis senyawa selulosa, yaitu C-O, C-C, dan struktur cincin, sebagai tambahan getaran deformasi eksternal CH_2 , C-OH, C-CO, dan kelompok C-CH, seperti yang sudah dijelaskan, dimana ikatan selulosa akan lebih tinggi intensitasnya pada *nanocellulose* (Khan *et al.*, 2010).

4.3 Analisis Kekuatan Lentur

Komposit berpenguat *cellulose* pada penelitian ini digunakan untuk aplikasi bahan penyerap suara pada doorpanel kendaraan bermesin diesel. Pada konstruksinya, bahan penyerap suara ini digunakan menyelimuti pintu pada kendaraan tersebut sehingga diperlukan pengujian kekuatan lentur.

Dari pengujian yang telah dilakukan, diplot data dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Pengaruh Fraksi Massa dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Kekuatan Lentur (a) dan Modulus Kelenturan (b)



Gambar 4.11 menunjukkan grafik hasil uji *flexural* pada PU murni dan komposisinya. Penambahan *cellulose* menyebabkan perbedaan kekuatan lentur dan modulus kelenturan. Hal ini menandakan adanya pengaruh *cellulose* terhadap kekuatan lentur dan modulus kelenturan komposit. Kekuatan lentur polyurethane mengalami penurunan dengan penambahan *cellulose*, sedangkan modulus kelenturan mengalami peningkatan dengan penambahan *cellulose*, akan tetapi mengalami penurunan setelah penambahan melebihi 3% (Gambar 4.11b).

Dari pengujian kekuatan lentur yang telah dilakukan, diperoleh hasil data yang ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Pengaruh Fraksi Massa dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Kekuatan Lentur dan Modulus Kelenturan

Fraksi Massa (%wt)	Kekuatan Lentur (MPa)		Modulus Kelenturan (MPa)	
	Mikro	Nano	Mikro	Nano
PU	2,8±1,17		15,62±1,30	
1%	1,66±0,79	1,73±0,55	18,1±0,27	28,60±0,16
3%	0,74±0,12	1,39±0,03	21,17±0,69	28,73±0,44
5%	0,63±0,23	1,31±0,17	14,16±0,86	16,77±1,15
10%	0,21±0,05	0,74±0,01	10,76±0,27	11,23±0,18
15%	0,18±0,05	0,49±0,08	6,36±1,1	7,68±0,4

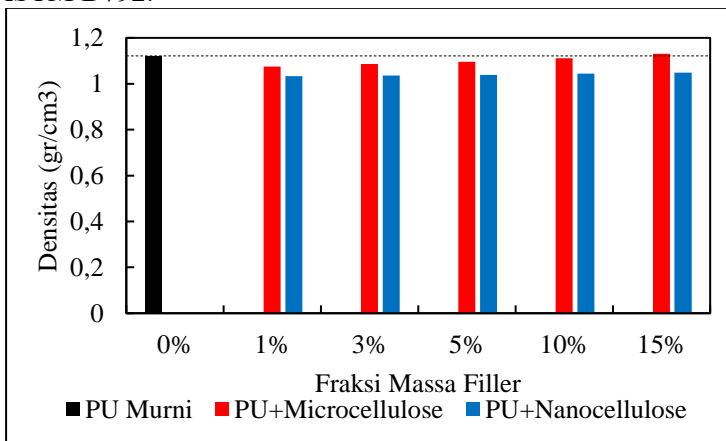
Pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa semakin bertambah *cellulose* menurunkan kekuatan lentur dari komposit sebesar 2,62 MPa pada filler *microcellulose* dan 2,31 MPa pada filler *nanocellulose*. Hal ini disebabkan oleh jumlah void yang banyak mengakibatkan jumlah gas dalam void akan bertambah. Gas mempunyai kekuatan mekanik sendiri sehingga dapat menurunkan sifat mekanik void tersebut (Sivertsen, 2007). Penambahan hingga



3% *cellulose* menaikkan modulus kelenturan komposit sebesar 5,55 - 13,11 MPa. Namun, penambahan 5% hingga 15% *cellulose* pada komposit akan menurunkan modulus kelenturan komposit menjadi sebesar 6,36 - 14,16 MPa. Hasil yang didapat juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khalil *et al.* (2013) yang mana diperoleh sifat mekanik yang cenderung menurun ketika filler melebihi 3%. Hal ini disebabkan oleh penambahan fraksi massa *cellulose* cenderung membuat komposit menjadi lebih kaku dan getas (Saba *et al.* 2016) dan sesuai dengan hasil penelitian Rahman (2011), bahwa penambahan serat mengakibatkan penurunan pada nilai kekuatan lentur. Penurunan ini disebabkan oleh proses alkalisasi yang bertujuan untuk menghilangkan lignin. Lignin mengganggu ikatan interface pada komposit, tetapi hal ini membuat serat menjadi sangat rapuh karena lignin yang di dalam serat dihilangkan lewat proses tersebut.

4.4 Analisis Densitas Komposit

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur massa dan volume dari komposit. Pengujian dilakukan menurut standar ASTM D792.



Gambar 4. 12 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Densitas yang Dihasilkan



Gambar 4.12 menunjukkan grafik densitas pada polyurethane murni dan kompositnya. Dari gambar terlihat bahwa nilai densitas terlihat mengalami penurunan dikarenakan keberadaan gelembung atau foam dari spesimen polyurethane berpenguat *cellulose* lebih banyak, akan tetapi penurunan ini bisa dikatakan tidak signifikan (sebesar 0,01 - 0,088 gr/cm³. Menurut Katrine Sivertsen (2007), jumlah void yang banyak akan mengakibatkan jumlah gas dalam void akan bertambah. Gas mempunyai kekuatan mekanik sendiri sehingga dapat menurunkan sifat mekanik void tersebut yang mana mengakibatkan terjadinya penurunan pada densitas. Hal ini dibuktikan dengan nilai densitas eksperimen yang lebih kecil daripada teori. Karena pada saat proses sintesis, polyurethane mengembang dengan volume tertentu dan menghasilkan semakin banyak void dan gas.

Tabel 4. 8 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Densitas yang Dihasilkan

Fraksi Massa (%wt)	Densitas (gr/cm ³)	
	Mikro	Nano
PU	1,121±0,009	
1%	1,075±0,031	1,033±0,001
3%	1,086±0,005	1,035±0,001
5%	1,096±0,009	1,038±0,001
10%	1,111±0,001	1,044±0,001
15%	1,131±0,001	1,048±0,003

Tabel 4.8 menunjukkan nilai massa jenis pada komposit Polyurethane berpenguat *microcellulose* dan *nanocellulose* dengan fraksi massa masing-masing sebesar 1, 3, 5, 10, dan 15% wt. Pada komposisi 100%PU didapatkan densitas sebesar 1,12 g/cm³. Hal ini sesuai dengan teori dimana massa jenis Polyurethane berkisar antara 1,12-1,19 g/cm³ (Kricheldorf, 2005). Massa jenis sintesis PU yang dihasilkan sama dengan teori menandakan tidak terjadi penambahan densitas.



Penambahan filler akan menaikkan densitas dari komposit tersebut. Menurut penelitian Qomariyah dan Farid (2016) polyurethane murni memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibandingkan komposit polyurethane berpenguat serat. Didapatkan dari pengujian bahwa dengan bertambahnya fraksi massa serat akan bertambah juga densitasnya, tetapi tidak lebih besar bila dibandingkan dengan densitas polyurethane. Dengan penambahan serat akan menambahkan densitas komposit sehingga densitas dengan filler terbesar memiliki densitas tertinggi.

Pada tabel 4.8 terlihat bahwa setiap penambahan fraksi massa filler tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada densitas komposit. Pada fraksi massa penambahan 1% filler dihasilkan densitas yang terendah dibanding yang lain. Seiring bertambahnya filler akan menghasilkan penambahan densitas pada komposit. Grafik menunjukkan bahwa penambahan filler terbanyak yaitu 15% menghasilkan densitas terbesar. Hasil uji densitas menunjukkan bahwa dengan penambahan filler menyebabkan kenaikan densitas yang tidak begitu signifikan.

Perbedaan ukuran filler memberikan pengaruh yang terlihat signifikan pada densitas. Perbedaan densitas antara *microcellulose* dan *nanocellulose* diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas antara *microcellulose* dan *nanocellulose*. Menurut Sun (2005), densitas dari *microcellulose* berkisar antara 1,42 - 1,46 g/cm³. Sedangkan, Afra (2013), menurut penelitiannya, mendapatkan densitas *nanocellulose* berkisar antara 0,85 - 0,9 g/cm³. Hal ini mengakibatkan komposit polyurethane berpenguat *microcellulose* memiliki densitas yang lebih besar daripada *nanocellulose*. Menurut Heath (2010), *nanocellulose* memiliki kelebihan dalam memproduksi *nanofaams* karena mengingat luas permukaan dari *nanocellulose* yang tinggi dan ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan *microcellulose*. Svagan (2010) menyatakan *nanocellulose* memiliki kemampuan untuk menambah foam dengan penyebaran yang merata. Hal tersebut juga mengakibatkan komposit berpenguat *nanocellulose* lebih ringan dibandingkan yang berpenguat *microcellulose*.



Menurut Marks (2008), densitas door panel yang dibutuhkan pada interior mobil biasanya berkisar antara 1,05-1,15 g/cm³. Dari hasil data pengujian densitas tersebut, baik *polyurethane* maupun komposit berpenguat *microcellulose* dan *nanocellulose* telah memenuhi standar densitas yang dibutuhkan untuk penggunaannya sebagai door panel.

4.5 Analisis Koefisien Absorpsi Suara

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian absorpsi suara pada komposit, jika nilai α semakin mendekati 1 maka sifat material dalam menyerap dan meredam bunyi semakin baik. Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengujian absorpsi suara pada komposit *polyurethane* berpenguat selulosa. Dapat dilihat bahwa nilai koefisien absorpsi suara terhadap frekuensi tiap spesimen berbeda-beda. Ini dikarenakan perbedaan komposisi yang menyebabkan perbedaan kerapatan ataupun ketidakhomogenan spesimen (Yusuf, 2016). Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa α tertinggi tercapai pada frekuensi tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena secara umum kapasitas absorpsi PU berada pada frekuensi tinggi dan relative rendah pada frekuensi rendah disebabkan karena rendahnya kapasitas peredaman energi suara. (Liu Ting dkk, 2011).

Tabel 4. 9 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Koefisien Absorpsi Suara

Frekuensi (Hz)	PU+ <i>Microcellulose</i> (%wt)				PU+ <i>Nanocellulose</i> (%wt)			
	0	5%	10%	15%	0	5%	10%	15%
125	0,204	0,199	0,200	0,207	0,204	0,197	0,203	0,220
250	0,318	0,314	0,302	0,326	0,318	0,310	0,318	0,315
500	0,325	0,315	0,307	0,338	0,325	0,331	0,326	0,334
1000	0,268	0,248	0,270	0,290	0,268	0,243	0,248	0,312
2000	0,409	0,404	0,411	0,42	0,409	0,408	0,412	0,422
4000	0,384	0,383	0,391	0,396	0,384	0,364	0,379	0,405



Gambar 4.13 menunjukkan grafik koefisien absorpsi suara. Pada gambar (a) menunjukkan grafik koefisien absorpsi suara dari empat spesimen yaitu PU murni dan tiga komposit PU berpenguat *microcellulose*. Perbedaan koefisien absorpsi suara terlihat berbeda di frekuensi rendah dan sedang, akan tetapi pada rentang frekuensi tinggi perbedaan koefisien penyerapan suaranya cenderung kecil. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh antara penambahan *microcellulose* terhadap nilai koefisien absorpsi suara. Menurut Yusril (2013), dengan penambahan serat maka akan menaikkan nilai α nya. Terlihat bahwa pada ketika PU yang mengalami penambahan *microcellulose* akan meningkatkan nilai α kecuali pada fraksi massa penambahan 5%. Hal tersebut dapat dijelaskan dari komposit PU+M-5% yang memiliki densitas lebih tinggi dari PU. Pertambahan densitas itu dapat menjadi penyebab berkurangnya nilai α dari PU murni. Menurut Shan (2012), densitas pori PU akan meningkat ketika ada fraksi yang menyebabkan ukuran pori mengecil. *Microcellulose* akan bersifat sebagai penghancur pori (Svagan, 2008). Menyusutnya pori dapat menurunkan kemampuan material dalam mengabsorpsi suara. Selain itu jenis rongga yang dihasilkan adalah *closed cell* dimana koefisien absorpsi suara PU *closed cell* lebih kecil dibanding koefisien absorpsi suara PU *open cell* (Elena, 2014).

Gambar 4.13(b) memiliki karakteristik yang mirip dengan Gambar 4.13(a). Pada Gambar 4.13(b) juga menunjukkan bahwa penambahan *nanocellulose* menyebabkan semakin meningkatnya nilai koefisien absorpsi suara. Hal ini dapat disebabkan oleh bertambahnya pori yang dibentuk oleh *nanocellulose*. Menurut penelitian Aulin (2009), *nanocellulose* bersifat sebagai penstabil pori dengan densitas yang rendah dan luas permukaan spesifiknya yang besar. Selain itu, *nanocellulose* memiliki kemampuan untuk membuat pori secara merata (Svagan, 2010). Sehingga akan dihasilkan pori yang kecil dan merata tanpa ada pori yang terdeformasi. Semakin kecil densitas yang dihasilkan akan memperbesar nilai koefisien absorpsi suara yang dihasilkan (Shan, 2012). Adanya perbedaan jenis filler menyebabkan nilai α yang

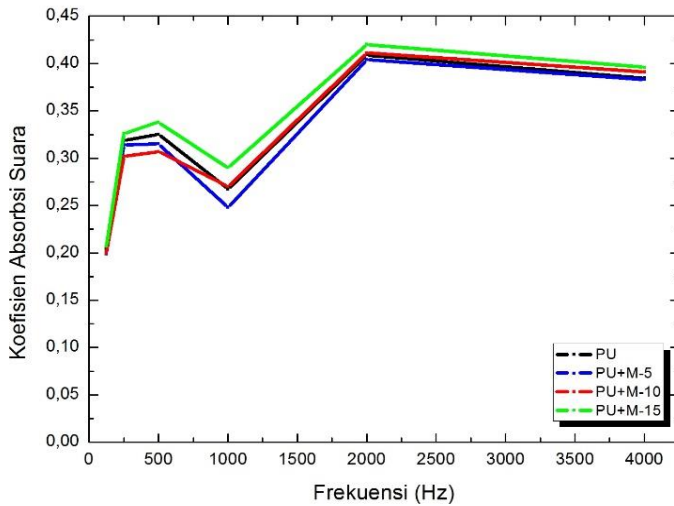


berbeda, akan tetapi tetap menunjukkan karakteristik penyerapan dengan jenis *porous absorber*, seperti yang ditunjukkan gambar 4.13(c).

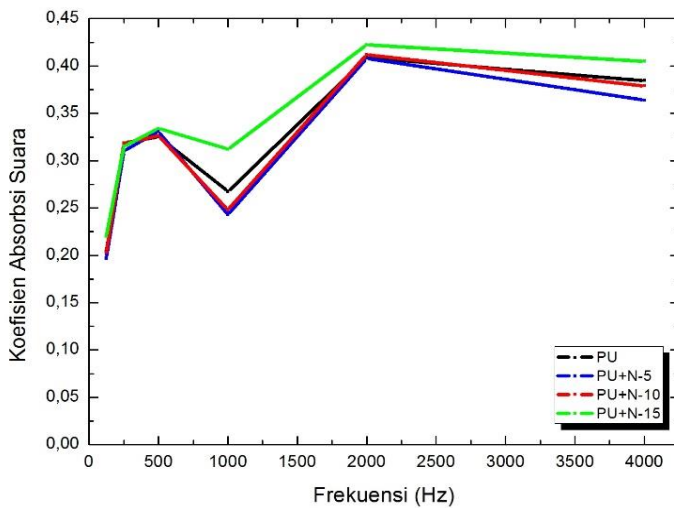
Dari gambar 4.13(a) dan (b) terlihat bahwa terjadi penurunan nilai koefisien absorpsi suara pada frekuensi 1000 Hz dan kemudian meningkat lagi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Jayamani dkk. (2013). Perilaku penurunan dan peningkatan ini disebabkan oleh karakteristik tertentu dari material itu sendiri dalam merefleksikan suara pada 1000 Hz. Hal ini terjadi karena koefisien absorpsi dari suatu material tergantung pada bahan dan frekuensi suara yang menyentuh permukaan bahan.



(a)

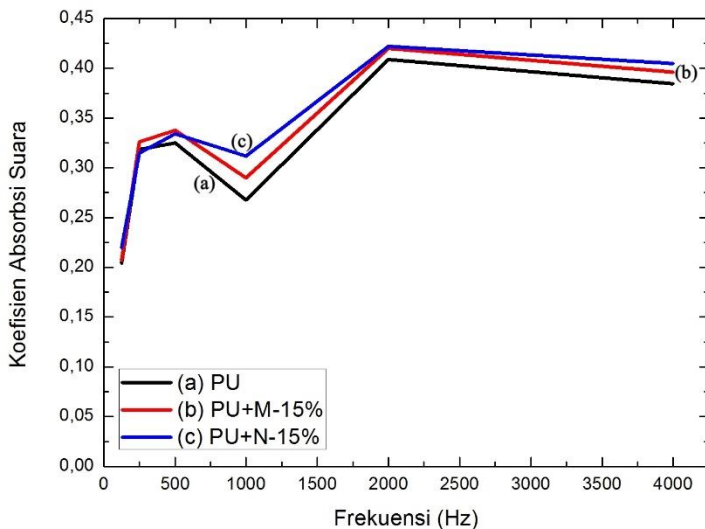


(b)





(c)



Gambar 4. 13 Koefisien Absorpsi pada: (a) PU berpenguat *microcellulose*, (b) PU berpenguat *nanocellulose*, (c) Perbandingan Terhadap Filler

Menurut Tiuc *et al.* (2016) dalam menunjukkan sifat absorpsi suara dari material dengan menggunakan nilai koefisien absorpsi suara pada rentang frekuensi yang berbeda mungkin terlalu kompleks. Untuk mengatasi masalah ini, kemampuan suatu material untuk menyerap suara umumnya dihitung menggunakan nilai tunggal: *noise reduction coefficient* (NRC). NRC dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Thuman, 1986):

$$NRC = \frac{(\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000})}{4} \dots\dots\dots (4.1)$$

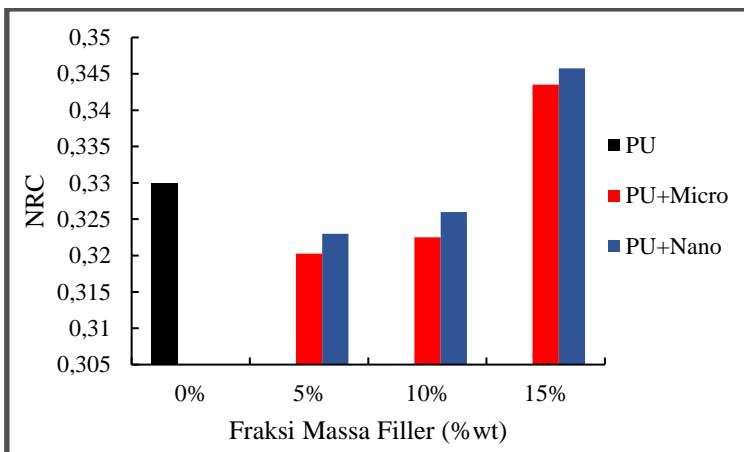
Dari rumus tersebut, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.10.



Tabel 4. 10 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Nilai NRC

No	Material	NRC
1	PU	0,33
2	PU+M-5	0,320
3	PU+M-10	0,322
4	PU+M-15	0,344
5	PU+N-5	0,323
6	PU+N-10	0,326
7	PU+N-15	0,346

Dari data pada tabel 4.10, diperoleh grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Pengaruh Penambahan Fraksi dan Ukuran Filler pada Komposit Berbasis PU terhadap Nilai NRC yang Dihasilkan

Kenaikan sifat akustik dari rigid polyurethane foam dengan penambahan filler dapat dilihat dari nilai NRC-nya (Tiuc et al., 2016). Dari gambar 4.14 didapatkan bahwa semakin bertambahnya filler akan menambah nilai NRC dari komposit. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Tiuc *et al.* (2016),



yakni penambahan persentase filler dapat menyebabkan nilai NRC meningkat. NRC terbesar dicapai oleh komposit polyurethane dengan penambahan 15% *nanocellulose*.

Menurut Howard (2009), semakin naik frekuensi, secara umum menyebabkan semakin naiknya nilai absorpsi suara yang menandakan bahwa material tersebut merupakan jenis *porous absorber*.

Menurut Jakob Morkholt (2011), nilai koefisien absorpsi suara didalam interior sebuah kendaraan dibedakan menjadi 3 yaitu untuk atap mobil, tempat duduk dan jendela beserta pintu. Untuk *door panel* mobil dan jendela nilai α sebesar 0.3. Nilai α dari interior mobil ini diteliti oleh European Union research project Cabin Noise Reduction by Experimental and Numerical Design Optimization (CREDO).



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan analisis data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan:

1. Ukuran filler menyebabkan perubahan morfologi pada komposit. Komposit berpenguat *microcellulose* mengalami pemecahan pori secara tidak merata dan komposit berpenguat *nanocellulose* mengalami penambahan pori. Penambahan fraksi massa akan mengubah ukuran dan jumlah pori dengan densitas yang semakin bertambah seiring dengan penambahan fraksi massa. Pada *polyurethane* (70PPI:30PPG), ukuran porinya sekitar 147-483 μm dan berubah ketika diberi filler. Komposit berpenguat *microcellulose* berukuran pori sekitar 91-375 μm dan komposit berpenguat *nanocellulose* berukuran pori sekitar 40-196 μm .
2. Ukuran filler menyebabkan perubahan nilai koefisien absorpsi suara. Nilai koefisien absorpsi suara *polyurethane* sebesar 0,409 pada frekuensi 2000 Hz. Komposit berpenguat *microcellulose* memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,420 dan komposit berpenguat *nanocellulose* memiliki nilai koefisien absorpsi suara sebesar 0,422 pada frekuensi 2000 Hz. Penambahan fraksi massa filler pada komposit akan menaikkan nilai koefisien absorpsi suara.
3. Ukuran filler menyebabkan perbedaan modulus kelenturan pada komposit. Komposit berpenguat *nanocellulose* memiliki modulus kelenturan yang lebih baik dibandingkan komposit berpenguat *microcellulose*. Penambahan fraksi massa filler pada komposit akan menyebabkan perubahan modulus kelenturan. Dengan penambahan massa filler hingga 3% akan meningkatkan modulus kelenturan material, namun lebih dari itu akan



menurunkan modulus kelenturan. Modulus kelenturan tertinggi sebesar 28,73 MPa.

5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai material penyerap suara berpori
2. Lebih diperhatikan lagi dalam pembuatan komposit dengan polyurethane agar porinya dapat dikendalikan.
3. Dalam pembuatan harusnya memperhatikan distribusi dari serat.

Adanya penelitian lain mengenai sintesis *nanocellulose* dari serat natural lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, E. *et al.* 2011. “*Extraction of nanocellulose fibrils from lignocellulosic fibres: A novel approach*”. Carbohydrate Polymers. Vol. 86. Hal. 1468– 1475.
- Afra, E. *et al.* 2013. “*Comparative effect of mechanical beating and nanofibrillation of cellulose on paper properties made from bagasse and softwood pulps,*” Carbohydrate Polymers 97 (725– 730).
- Alves, L. *et al.* 2015. *Unusual extraction and characterization of nanocrystalline cellulose from cellulose derivatives*. Journal of Molecular Liquids. Vol. 210. Hal. 106–112.
- Amin. Khairatun N. M. *Cellulose Nanocrystals Reinforced Thermoplastic Polyurethane Nanocomposites*. Australia: The University of Queensland.
- Anggorodi, R. 1994. *Ilmu Makanan Ternak*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Asadi, Mostafa dan Abdolreza Ohadi. 2015. *Improving Sound Absorption of Polyurethane Foams By The Incorporation of Nano-Particles*. Iran: Amirkabir University of Technology.
- Bakri, Muhammad Khusairy Bin *et al.* 2015. *Reinforced Oil Palm Fiber Epoxy Composites: An Investigation on Chemical Treatment of Fibers on Acoustical, Morphological, Mechanical and Spectral Properties*. Materials Today: Proceedings 2.
- Beck-Candanedo, S., M. Roman, and D.G. Gray. 2005. “*Effect of Reaction Conditions on the Properties and Behavior of Wood Cellulose Nanocrystal Suspensions*”. Biomacromolecules, 6 (2), 1048-1054.
- Budiyanto, Cahyo. 2009. *Thermoplastik dalam Dunia Industri*. Yogyakarta : Teknika Medika
- Brinchi, L., *et al.* 2013. “*Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications*”. Carbohydrate Polymers, 94(1),. 154-169.

- Callister Jr, William D, 2010. *Materials Science And Engineering An Introduction, 8th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken
- Campbell, Flake C. 2003. *Manufacturing Processes for Advanced Composites*. UK: Elsevier.
- Chen Wen Shan, 2012. *Study of Flexible Polyurethane Foams Reinforced with Coir Fiber and Tyre Particles*. Malaysia : UTHM
- Chung, Deborah D.L. 2010. *Composite Materials*. Springer : London Dordrecht Heidelberg.
- Clemiston, Ian. 2008. *Castable Polyurethane Elastomers*. Florida: CRC Press.
- D. Klempner and V. Sendjarevic. 2004. *Polymeric Foams and Foam Technology, 2nd ed*. Munich: Hanser.
- Doelle, L. L. 1972. *Akustik Lingkungan*. Jakarta: Erlangga.
- Faruk, Omar, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink, Mohini Sain. 2012. “*Biocomposites Reinforced with Natural Fibers*”. *Progress in Polymer Science*. No. 37, Hal. 1552-1596.
- Gardiner, G. 2013. *Thermoformable Composite Panels*. Tersedia online:
<http://www.flexformtech.com/News/pdfs/Composites-World-Thermoformable-Composite-Panels.pdf> (diakses pada tanggal 26 November 2016).
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai, S.W., 2003. *Composite Material: Design and Applications, pen. CRC, Canada GNU Documentation*. 2002. Engineering Acoustics. Free Software Foundation, Inc : USA
- Gayathri. 2014. “*Nanomaterials in PU foam for enhanced sound absorption at low frequency region*”. *Advanced Materials Research*. Vol. 938. Hal. 170-175.
- Gunawan, E. Fergyanto, Hiroomi Homma, Satryo S. Brodjonegoro, Afzer Bin Baseri Hudin dan Aryanti Binti Zainuddin. 2009. “*Mechanical Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber*”. *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*. Vol. 3, No. 7, Hal. 943.

- Heath, L., Thielemans, W. 2010. "Cellulose nanowhisker aerogels". *Green Chem.* Vol. 12. Hal. 1448.
- Holtzapple, M.T. 2003. *Hemicelluloses*. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. pp. 3060-3071. Academic Press.
- Howard dan Angus, 2009. *Accoustics and Psychoacoustics 4th Edition*. Burlington: Oxford.
- Ioelovich, M. 2012. "Study of Cellulose Interaction with Concentrated Solutions of Sulfuric Acid". *ISRN Chemical Engineering*.
- Ivdre, A., et al. 2016. "Nanocellulose Reinforced Polyurethane Obtained From Hydroxylated Soybean Oil". *Baltic Polymer Symposium 2015*. IOP Publishing.
- Jayamani, et al. 2013. "Experimental determination of Sound Absorption Coefficients of Four types of Malaysian Wood". *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 315. Hal. 577-581.
- Jorge P. Arenas and Malcolm J. Crocker , 2010. *Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials*. University Austral of Chile, Valdivia, Chile and, Auburn University, Auburn, Alabama, Sound and Vibration.
- Kalia, S. et al. 2013. *Nanofibrillated cellulose: surface modification and potential applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Katrine, S. 2007. *Polymer Foams*. Spring United States : 3.063 Polymer Physics
- Khalil, Abdul H.P.S. 2012. "Oil Palm Biomass Fibres and Recent Advancement in Oil Palm Biomass Fibres Based Hybrid Biocomposites". *Intech*.
- Khan, Ruhul A. 2010. "Production and Properties of Nanocellulose-Reinforced Methylcellulose-Based Biodegradable Films". *J. Agric. Food Chem.* Vol. 58. Hal. 7878–7885.
- Khusairy, Muhammad et al. 2015. "Reinforced Oil Palm Fiber Epoxy Composites: An Investigation on Chemical Treatment of Fibers on Acoustical, Morphological, Mechanical and

- Spectral Properties*". Materials Today: Proceedings 2. Hal. 2747-2756.
- Krevelen, D. W. Van. 1994. *Properties of Polymers, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions 3rd Edition*. Elsevier Science B. V. Amsterdam. Netherlands.
- Lee, Y and Changwhan, J. 2003. *Sound Absorption Properties of Recycled Polyester Fibrous Assembly Absorbers*. AUTEX Research Journal. Vol. 3, No.2.
- Lehninger, Albert L., David L. Nelson, dan Michael M. Cox. 2000. *Lehninger Principles of Biochemistry*. New York: Worth Publishers.
- Lokantara Putu, Suardana, N P G. (2007). "Analisis Arah dan Perlakuan Serat Tapis Serta Rasio Epoxy Hardener Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy". Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram Vol. 1 No. 1, (15-21).
- Mahjoub, Reza et al. 2013. "A Review of Structural Performance of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber in Polymer Composites". Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia
- Mediastika, E Christina. 2009. *Material Akustik Pengendali Kualitas Bunyi pada Bangunan*. Yogyakarta.
- Moh. Farid, Yusuf Sultoni. 2016. "Pengaruh Proses Alkali dan Fraksi Massa terhadap Morfologi, kekuatan Bending dan Koefisien Absorpsi Suara Komposit Polyurethane/Coir Fiber pada Komponen Muffler". Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Moh. Farid, Rani Legiviani. 2016. "Pengaruh Perbandingan Komposisi Penyusun Polyurethane dan Fraksi Massa Serat Kelapa terhadap Koefisien Absorpsi Suara dan Kekuatan Lentur Komposit Serat Kelapa pada Aplikasi Muffler". Program Sarjana. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Moh. Farid, H. Ardhyanta, V. M. Pratiwi, S. P. Wulandari. 2015. *Correlation between Frequency and Sound Absorption*

- Coefficient of Polymer Reinforced Natural Fibre*. Advanced Materials Research, Vol. 1112, pp. 329-332.
- Mohammed, Layth. 2015. *A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications*. Malaysia: Universiti Tenaga Nasional.
- Morais, João Paulo Saraiva, et al. 2012. "Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter". Carbohydrate Polymers No. 91, hal. 229-235.
- Mørkholt, Jakob et al. 2011. "Sound Intensity Measurements in Vehicle Interiors". Sound & Vibration, December 2011.
- Mwaikambo, L. Y. 2006. *Review of The History, Properties and Application of Plant Fibres*. Tanzania: College of Engineering and Technology.
- Nick, Albrecht et al. 2002. "Improved Acoustic Behavior of Interior Parts of Renewable Resources in the Automotive Industry". Journal of Polymers and the Environment, Vol. 10, No. 3
- Rahayu, Titiek. 2010. "Dampak Kebisingan Terhadap Munculnya Gangguan Kesehatan". Edisi Januari : 59 – 65.
- Pääkkö, M. et al. 2007. *Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High-Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels*. Biomacromolecules. Vol. 8. Hal. 1934-1941.
- Peng, B., et al. 2011. "Chemistry and applications of nanocrystalline cellulose and its derivatives: A nanotechnology perspective". The Canadian Journal of Chemical Engineering, 89 (5), 1191- 1206.
- Saba, Naheed et al. 2016. "Fabrication of Epoxy Nanocomposites from oil Palm Nano Filler: Mechanical and Morphological Properties". BioResources. Vol. 11, No. 3, Hal. 7721-7736.
- Shanmugarajah dkk, 2015. "Isolation of NanoCrystalline Cellulose (NCC) from Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB): Preliminary Result on FTIR and DLS Analysis". CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. VOL. 45.

- Shoshani, Y. Z. 2011. “*Effect of Nonwoven Bacing on the Noise Absorption Capacity of Tufted Carpets*”. Textile Research Journal, 60, 452-456
- Suban, Stefanus Laga dan Moh. Farid, 2015. “*Pengaruh Variasi Komposisi Serat Terhadap Nilai Koefisien Absorpsi Suara dan Perilaku Mekanik Pada Komposit Serat Ampas Tebu Dan Bambu Betung Dengan Matriks Gypsum*”. Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS Surabaya.
- Sulistijono. 2012. *Mekanika Material Komposit*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Sun, C. C. 2005. “*True Density of Microcrystalline Cellulose*,” Journal of Pharmaceutical Sciences, Vol. 94 No. 10, 2132-2134.
- Svagan, A.J., *et al.* 2010. “*Towards tailored hierarchical structures in starch-based cellulose nano-composties prepared by freeze drying*”. J. Mater. Chem. Vol. 20. Hal. 6646.
- Tiuc. 2016. “*Improved Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam Mixed with Textile Waste*”. Energy Procedia. Vol. 85. Hal. 559 – 565.
- Wirajaya A. 2007. *Karakteristik Komposit Sandwich Serat Alami Sebagai Absorber Suara*. ITB BANDUNG.
- Young, Raymond A. dan Roger M. Rowell. 1986. *Cellulose structure modification and hydrolysis*, New York: Wiley-Interscience.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MASSA SPESIMEN

1. Massa Spesimen Uji Absorpsi Suara

Massa Total = 40 gram

- Fraksi Massa 1%

Massa Filler	= 1% x 40 gram	= 0,4 gram
Massa Isocyanate	= 70% x (40 - 0,4) gram	= 27,72 gram
Massa Polyol	= 30% x (40 - 0,4) gram	= 11,88 gram

- Fraksi Massa 3%

Massa Filler	= 3% x 40 gram	= 1,2 gram
Massa Isocyanate	= 70% x (40 - 1,2) gram	= 27,16 gram
Massa Polyol	= 30% x (40 - 1,2) gram	= 11,64 gram

- Fraksi Massa 5%

Massa Filler	= 5% x 40 gram	= 2 gram
Massa Isocyanate	= 70% x (40 - 2) gram	= 26,6 gram
Massa Polyol	= 30% x (40 - 2) gram	= 11,4 gram

- Fraksi Massa 10%

Massa Filler	= 10% x 40 gram	= 4 gram
Massa Isocyanate	= 70% x (40 - 4) gram	= 25,2 gram
Massa Polyol	= 30% x (40 - 4) gram	= 10,8 gram

- Fraksi Massa 15%

Massa Filler	= 15% x 40 gram	= 6 gram
Massa Isocyanate	= 70% x (40 - 6) gram	= 23,8 gram
Massa Polyol	= 30% x (40 - 6) gram	= 10,2 gram

2. Massa Spesimen Uji Flexural

Massa Total = 10 gram

- Fraksi Massa 1%

Massa Filler	$= 1\% \times 10 \text{ gram}$	$= 0,1 \text{ gram}$
Massa Isocyanate	$= 70\% \times (10 - 0,1) \text{ gram}$	$= 6,93 \text{ gram}$
Massa Polyol	$= 30\% \times (10 - 0,1) \text{ gram}$	$= 2,97 \text{ gram}$

- Fraksi Massa 3%

Massa Filler	$= 3\% \times 10 \text{ gram}$	$= 0,3 \text{ gram}$
Massa Isocyanate	$= 70\% \times (10 - 0,3) \text{ gram}$	$= 6,79 \text{ gram}$
Massa Polyol	$= 30\% \times (10 - 0,3) \text{ gram}$	$= 2,91 \text{ gram}$

- Fraksi Massa 5%

Massa Filler	$= 5\% \times 10 \text{ gram}$	$= 0,5 \text{ gram}$
Massa Isocyanate	$= 70\% \times (10 - 0,5) \text{ gram}$	$= 6,65 \text{ gram}$
Massa Polyol	$= 30\% \times (10 - 0,5) \text{ gram}$	$= 2,85 \text{ gram}$

- Fraksi Massa 10%

Massa Filler	$= 10\% \times 10 \text{ gram}$	$= 1 \text{ gram}$
Massa Isocyanate	$= 70\% \times (10 - 1) \text{ gram}$	$= 6,3 \text{ gram}$
Massa Polyol	$= 30\% \times (10 - 1) \text{ gram}$	$= 2,7 \text{ gram}$

- Fraksi Massa 15%

Massa Filler	$= 15\% \times 10 \text{ gram}$	$= 1,5 \text{ gram}$
Massa Isocyanate	$= 70\% \times (10 - 1,5) \text{ gram}$	$= 5,95 \text{ gram}$
Massa Polyol	$= 30\% \times (10 - 1,5) \text{ gram}$	$= 2,55 \text{ gram}$

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN MASSA JENIS KOMPOSIT

Mencari massa jenis:

$$\frac{\text{massa spesimen di udara (gram)}}{\text{massa spesimen dalam air (gram)}} \times \text{massa jenis air (1 gram/cm}^3\text{)}$$

1. PU Murni

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,0568	0,0504	1,126984
2	0,0573	0,0516	1,110465
3	0,0496	0,0441	1,124717
Rata-rata			1,120721932

2. PU + M-1%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,042	0,0388	1,082474
2	0,0507	0,0487	1,041068
3	0,0408	0,037	1,102703
Rata-rata			1,075414897

3. PU + M-3%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,0722	0,0668	1,080838
2	0,0797	0,0731	1,090287
3	0,1052	0,0967	1,087901
Rata-rata			1,086342108

4. PU + M-5%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,0795	0,0719	1,105702
2	0,0833	0,0764	1,090314
3	0,0992	0,0909	1,091309
Rata-rata			1,09577521

5. PU + M-10%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,2613	0,2354	1,110025
2	0,2698	0,2428	1,111203
3	0,2274	0,2044	1,112524
Rata-rata			1,111250862

6. PU + M-15%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,2257	0,1998	1,12963
2	0,2839	0,2509	1,131527
3	0,2322	0,2051	1,132131
Rata-rata			1,131095601

7. PU + N-1%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,472	0,4565	1,033954

2	0,3609	0,3496	1,032323
3	0,3501	0,3395	1,031222
Rata-rata			1,032499679

8. PU + N-3%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm³)
1	0,473	0,4568	1,035464
2	0,1094	0,1058	1,034026
3	0,1044	0,1007	1,036743
Rata-rata			1,035411121

9. PU + N-5%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm³)
1	0,0693	0,0667	1,038981
2	0,4104	0,3956	1,037412
3	0,2837	0,2733	1,038053
Rata-rata			1,038148486

10. PU + N-10%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm³)
1	0,2182	0,2089	1,044519
2	0,4112	0,3938	1,044185
3	0,2336	0,2237	1,044256
Rata-rata			1,044319825

11. PU + N-15%

Spesimen	Massa di Udara	Massa dalam Air	Densitas (g/cm ³)
1	0,3368	0,3216	1,047264
2	0,4275	0,4089	1,045488
3	0,3251	0,3093	1,051083
Rata-rata			1,047944889


*M: *Microcellulose*; N: *Nanocellulose*

LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN

Hasil Pengujian Absorpsi Suara

1. PU Murni



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA
Gedong E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 5944254 Fax. 031 5923626 FAX : 1201
<http://www.vibrasi-akustik.its.ac.id>
email: akroestische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 93/PROV/VIBRATIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane Murni* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:



Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,204118
250	0,318356
500	0,325159
1000	0,267489
2000	0,408931
4000	0,384421

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alfa seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alfa tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik



Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

2. PU + M-5%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101 Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax 031-5923628 FAX 1281
<http://www.vibrasi-tp-fis.its.ac.id>
email: akhewetische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 94/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah 5% *Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,198518
250	0,313644
500	0,314689
1000	0,248304
2000	0,404342
4000	0,383012

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui.

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc

NIP. 1960022918701 1 001

3. PU + M-10%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo-Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 031-5923626 FAX : 1201
<http://www.vibrastic.ep.its.ac.id>
email: akoestische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 95/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah *10% Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,200088
250	0,30231
500	0,306486
1000	0,269747
2000	0,411184
4000	0,391387

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui.

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

4. PU + M-15%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukoville, Surabaya 60132
Telp. (031) 5947188, 5994254 Fax. (031) 5923628 FAX. 1201
<http://www.vibrastik.es-its.ac.id>
email: akustisches@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 96/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah *15% Micro Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,206944
250	0,325886
500	0,337583
1000	0,289887
2000	0,420157
4000	0,395661

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

5. PU + N-5%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukralila Surabaya 60111
Telp. (031) 5947181, 599425-4 Fax. 031-5923629 FAX : 1201
http://www.vibrastir.its.ac.id
email: akoestische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 97/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada sepesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah 5% *Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,197127
250	0,310112
500	0,330644
1000	0,242893
2000	0,407598
4000	0,363482

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

6. PU + N-10%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 5994254 Fax. 031-5923626 FAX : 1201
http://www.vibrastic.ep.its.ac.id
email: akoestische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 98/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah 10% *Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,203146
250	0,318443
500	0,326206
1000	0,248023
2000	0,412057
4000	0,379368

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc
NIP. 1960022918701 1 001

7. PU + N-15%



LABORATORIUM VIBRASI DAN AKUSTIK TEKNIK FISIKA

Gedung E-101, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp. (031) 5947188, 599425-4 Fax. 031-5923626 FAX : 1291
http://www.vibrastic.ep-its.ac.id
email: akoestische@gmail.com

Surabaya, 3 Januari 2017

No : 99/PROV/VIBRASTIC/1/17

Hal : Hasil Pengukuran Alpha Material

SURAT KETERANGAN

Dari pengukuran Alpha Material pada spesimen uji dengan sampel spesimen *Polyurethane* ditambah *15% Nano Selulosa* dari mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi - ITS yang dilakukan pada Rabu, 28 Desember 2016 pukul 00.00 WIB dengan ukuran diameter = 9,8 cm dan ketebalan = 1 cm, didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel Alpha Material Spesimen Uji

Frekuensi (Hz)	Alfa (α)
125	0,220416
250	0,314878
500	0,333925
1000	0,312053
2000	0,422445
4000	0,40482

Kesimpulan

Pengujian Alpha Material pada spesimen uji didapatkan hasil nilai alpha seperti pada tabel diatas. Dengan nilai alpha tersebut dapat diartikan bahwa specimen memiliki kecenderungan semakin tinggi frekuensi yang diterima maka semakin menyerap dan/atau meneruskan bunyi.

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc

NIP. 1960022918701 1 001

Hasil Pengujian *Flexural*

No	Kode Spesimen	Beban (Kgf)	Defleksi (mm)	L (mm)	b (mm)	d (mm)
1	PU	0,3	18,75	86	12,7	5
2		0,5	29,1	86	12,7	5
3		0,5	34,4	86	12,7	5
4	PU+M-1%	0,4	21,97	86	12,7	5
5		0,25	13,35	86	12,7	5
6		0,7	17,37	86	12,7	6,5
7	PU+M-3%	0,3	14,6	86	12,5	5
8		0,3	14,18	86	12,5	5
9		0,3	14,25	86	12	5
10	PU+M-5%	0,25	18,34	86	12,7	5
11		0,3	19,54	86	12,7	5
12		0,25	17,52	86	12,7	5
13	PU+M-10%	0,25	12,99	86	13	6
14		0,25	12,56	86	13	6
15		0,25	13,19	86	13	6
16	PU+M-15%	0,35	11,6	86	12,7	8
17		0,25	11,7	86	12,7	8
18		0,3	10,72	86	12,7	8
19	PU+N-1%	0,5	17,26	86	12,7	5
20		0,2	6,83	86	12,7	5
21		0,4	13,75	86	12,7	5
22	PU+N-3%	0,15	5,04	86	12,7	5
23		0,2	6,91	86	12,7	5
24		0,2	6,89	86	12,7	5
25	PU+N-5%	0,1	6,35	86	12,7	5
26		0,2	11,42	86	12,7	5
27		0,15	8,35	86	12,7	5

28	PU+N- 10%	0,15	3,25	86	12,7	8
29		0,15	3,15	86	12,7	8
30		0,1	2,14	86	12,7	8
31	PU+N- 15%	0,15	4,42	86	12,7	8
32		0,1	3,19	86	12,7	8
33		0,1	3,25	86	12,7	8

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama Jonathan Dian dilahirkan di Mataram, 28 Oktober 1995. Penulis merupakan putra kedua dari pasangan Ir. A. Siburian, M.Si. dan D. H. Manurung, S.H. dan telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Santa Lusia Bekasi, SMP Santa Lusia Bekasi dan SMA Marsudirini Bekasi. Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan pendidikan S-1 di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (JTMM ITS) pada tahun 2013. Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Semasa menjadi mahasiswa ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi BEM FTI-ITS (Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Penulis pernah menjabat sebagai Staf Departemen Kewirausahaan – BEM FTI-ITS dan Kepala Departemen Kewirausahaan – BEM FTI-ITS. Penulis juga aktif mengikuti kegiatan HMMT FTI-ITS sebagai OC. Selain itu, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium untuk praktikum Kimia Analitik, Fisika Dasar, dan Material Polimer. Pengalaman kerja yang dimiliki penulis yaitu pada bulan Juli 2016 melakukan kerja praktek di PT. Gunanusa Utama Fabricators pada divisi *welding*. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai Material Inovatif (Komposit Kayu).

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)